

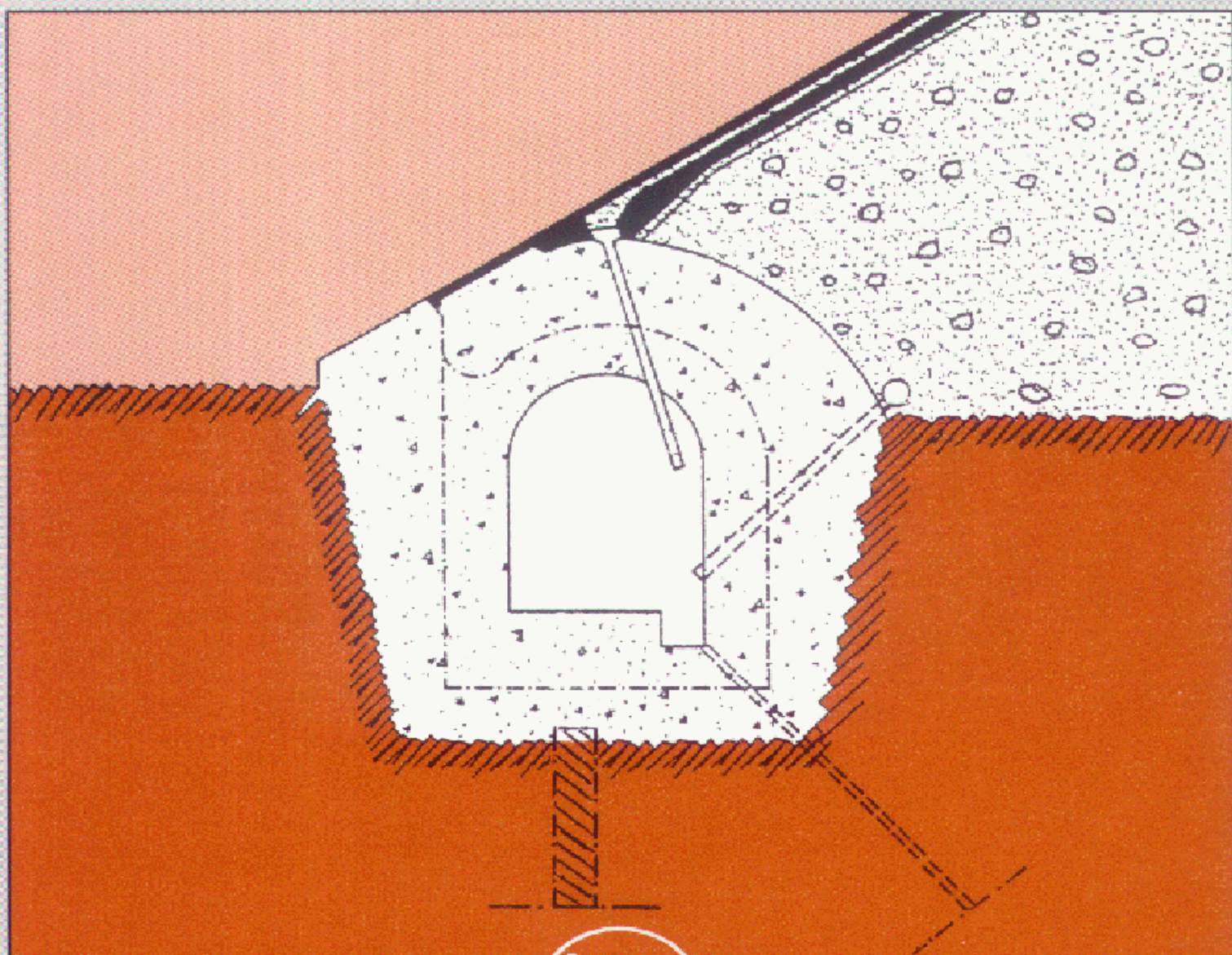
EMBANKMENT DAMS WITH BITUMINOUS CONCRETE FACING

Review and recommendations

BARRAGES EN REMBLAI AVEC MASQUE EN BÉTON BITUMINEUX

Synthèse et recommandations

Bulletin 114



1999

The cover illustration is reproduced from Fig. 4 of the Bulletin :
Example of connection of a double lining facing to a plinth founded on rock

*L'illustration de couverture reproduit la Fig. 4 du Bulletin :
Exemple de raccordement d'un masque amont bicouche à un socle fondé sur du rocher*

Revised unified edition of Bulletins 32 and 39 prepared by R. Jappelli (Coordinator), P. Bertacchi, C. Callari, D. Cazzuffi, S. Di Maio, L. Sarti, P. Sembenelli of the ITCOLD Sub-Committee on Materials for Fill Dams, with contributions from P. Creegan (USCOLD), D. Stroh, E. Schönián (DTK), P. Tschernutter (Austria)

Original text in English - French version finalized by Y. Le May

Édition mise à jour et unifiée des Bulletins 32 et 39, préparée par R. Jappelli (Coordinateur), P. Bertacchi, C. Callari, D. Cazzuffi, S. Di Maio, L. Sarti, P. Sembenelli de ITCOLD - Sous-Comité des Matériaux pour Barrages en Remblai, avec des contributions de P. Creegan (USCOLD), D. Stroh, E. Schönián (DTK), P. Tschernutter (Autriche)

Texte original en anglais - Version française mise au point par Y. Le May

EMBANKMENT DAMS WITH BITUMINOUS CONCRETE FACING

Review and recommendations

BARRAGES EN REMBLAI AVEC MASQUE EN BÉTON BITUMINEUX

Synthèse et recommandations

Commission Internationale des Grands Barrages - 151, bd Haussmann, 75008 Paris
Tél. : (33-1) 53 75 16 52 - Fax : (33-1) 40 42 60 71
E-mail : secretaire.general@icold-cigb.org - Site : www.icold-cigb.org.

AVERTISSEMENT – EXONERATION DE RESPONSABILITE:

Les informations, analyses et conclusions auxquelles cet ouvrage renvoie sont sous la seule responsabilité de leur(s) auteur(s) respectif(s) cité(s).

Les informations, analyses et conclusions contenues dans cet ouvrage n'ont pas force de Loi et ne doivent pas être considérées comme un substitut aux réglementations officielles imposées par la Loi. Elles sont uniquement destinées à un public de Professionnels Avertis, seuls aptes à en apprécier et à en déterminer la valeur et la portée et à en appliquer avec précision les recommandations à chaque cas particulier.

Malgré tout le soin apporté à la rédaction de cet ouvrage, compte tenu de l'évolution des techniques et de la science, nous ne pouvons en garantir l'exhaustivité.

Nous déclinons expressément toute responsabilité quant à l'interprétation et l'application éventuelles (y compris les dommages éventuels en résultant ou liés) du contenu de cet ouvrage.

En poursuivant la lecture de cet ouvrage, vous acceptez de façon expresse cette condition.

NOTICE – DISCLAIMER :

The information, analyses and conclusions referred to herein are the sole responsibility of the author(s) thereof.

The information, analyses and conclusions in this document have no legal force and must not be considered as substituting for legally-enforceable official regulations. They are intended for the use of experienced professionals who are alone equipped to judge their pertinence and applicability and to apply accurately the recommendations to any particular case.

This document has been drafted with the greatest care but, in view of the pace of change in science and technology, we cannot guarantee that it covers all aspects of the topics discussed.

We decline all responsibility whatsoever for how the information herein is interpreted and used and will accept no liability for any loss or damage arising therefrom.

Do not read on unless you accept this disclaimer without reservation.

COMMITTEE ON MATERIALS FOR FILL DAMS
COMITÉ DES MATÉRIAUX POUR BARRAGES EN REMBLAI
(1995 - 2001) (*)

Chairman/Président

Colombia/Colombie A. MARULANDA

Vice-Chairman/Vice-Président

Russia/Russie V.G. RADCHENKO

Members/Membres

Australia/Australie L. McDONALD

Austria/Autriche P. TSCHERNUTTER

Bulgaria/Bulgarie N.I. DIMITROV

Canada/Canada J.P. TOURNIER

Finland/Finlande A. LESKELA

France/France G. POST

Germany/Allemagne D. STROH

India/Inde N. VISVANATHAN

Iran/Iran N. TARKESHDOOZ

Italy/Italie R. JAPPELLI

Japan/Japon M. EBARA

Portugal/Portugal E. MARANHA DAS NEVES

South Africa/Afrique du Sud H.F. ELGES

Spain/Espagne M. ALONSO FRANCO

United Kingdom/Royaume-Uni R.C. BRIDLE

USA/États-Unis D.E. KLEINER

(*) Membership in November, 1998
Composition en novembre 1998

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS

1. OBJET DU BULLETIN
2. ÉLÉMENTS D'UN MASQUE AMONT EN BÉTON BITUMINEUX
3. HISTORIQUE
4. CRITÈRES DE CONCEPTION
5. SOLUTIONS TYPES
6. MATÉRIAUX
7. MÉTHODES DE CONSTRUCTION
8. CONTRÔLE DE QUALITÉ
9. COMPORTEMENT
10. INSPECTION ET AUSCULTATION
11. ENTRETIEN, RÉPARATIONS ET RÉHABILITATION

ANNEXES

CONTENTS

FOREWORD

1. SCOPE OF THE BULLETIN
2. ELEMENTS OF A BITUMINOUS CONCRETE UPSTREAM FACING
3. RECORDS
4. DESIGN PRINCIPLES
5. TYPICAL SOLUTIONS
6. MATERIALS
7. CONSTRUCTION METHODS
8. QUALITY CONTROL
9. PERFORMANCE
10. INSPECTION AND MONITORING
11. MAINTENANCE, REPAIRS AND REHABILITATION

APPENDICES

TABLE DES MATIÈRES

AVANT-PROPOS	10
1. OBJET DU BULLETIN	12
2. ÉLÉMENTS D'UN MASQUE AMONT EN BÉTON BITUMINEUX ...	14
3. HISTORIQUE	18
4. CRITÈRES DE CONCEPTION.....	20
4.1. Introduction.....	20
4.2. Prescriptions de conception.....	22
4.3. États limites	24
4.4. Calculs	24
5. SOLUTIONS TYPES.....	28
5.1. Couche-support.....	28
5.2. Couche imperméable	28
5.3. Couche de drainage	32
5.4. Couche de fermeture	32
5.5. Raccordement à une fondation rocheuse	32
5.6. Raccordement à un sol de fondation.....	36
5.7. Galerie périmétrale	38
5.8. Raccordement aux ouvrages annexes	40
5.9. Raccordement à la crête du barrage.....	40
6. MATÉRIAUX	44
6.1. Remblai.....	44
6.2. Bitume.....	46
6.3. Granulats	46
6.4. Filler	48
6.5. Mélanges bitumineux	50
7. MÉTHODES DE CONSTRUCTION.....	54
7.1. Températures	58
7.2. Malaxage.....	58

TABLE OF CONTENTS

FOREWORD.....	11
1. SCOPE OF THE BULLETIN	13
2. ELEMENTS OF A BITUMINOUS CONCRETE UPSTREAM FACING	15
3. RECORDS	19
4. DESIGN PRINCIPLES	21
4.1. Introduction.....	21
4.2. Design Requirements.....	23
4.3. Limit States.....	25
4.4. Computations	25
5. TYPICAL SOLUTIONS	29
5.1. Binder Layer	29
5.2. Impervious Layer.....	29
5.3. Drainage Layer	33
5.4. Seal Coat.....	33
5.5. Connection to a Rock Foundation	33
5.6. Connection to a Soil Foundation	37
5.7. Peripheral Gallery	39
5.8. Connection to Ancillary Structures	41
5.9. Connection to Dam Crest	41
6. MATERIALS	45
6.1. Embankment.....	45
6.2. Bitumen.....	47
6.3. Aggregates.....	47
6.4. Filler	49
6.5. Bituminous Conglomerate Mixes	51
7. CONSTRUCTION METHODS	55
7.1. Temperatures	59
7.2. Mixing	59

7.3. Transport	58
7.4. Épandage et finissage	58
7.5. Compactage	62
7.6. Traitement des joints	62
8. CONTRÔLE DE QUALITÉ	66
8.1. Matériaux	68
8.2. Malaxage	68
8.3. Mise en place	72
9. COMPORTEMENT	74
9.1. Comportement général	74
9.2. Dégâts lors du premier remplissage	74
9.3. Défauts en service	76
9.3.1. Problèmes structuraux	76
9.3.2. Problèmes relatifs au bitume	78
9.3.3. Vieillessement	80
10. INSPECTION ET AUSCULTATION	82
11. ENTRETIEN, RÉPARATIONS ET RÉHABILITATION	86
ANNEXE 1 - GLOSSAIRE	94
ANNEXE 2 - LISTE DE BARRAGES EN REMBLAI AVEC MASQUE AMONT EN BÉTON BITUMINEUX	100
ANNEXE 3 - RÉFÉRENCES	124

7.3. Transport	59
7.4. Spreading and Finishing	59
7.5. Compaction	63
7.6. Seam Treatment.....	63
8. QUALITY CONTROL	67
8.1. Materials	69
8.2. Batching	69
8.3. During Placement	73
9. PERFORMANCE	75
9.1. General Behaviour	75
9.2. Failures at the First Filling	75
9.3. Defects During Service	77
9.3.1. Structural Problems.....	77
9.3.2. Problems Related to the Bitumen	79
9.3.3. Ageing.....	81
10. INSPECTION AND MONITORING	83
11. MAINTENANCE, REPAIRS AND REHABILITATION	87
APPENDIX 1 - GLOSSARY	97
APPENDIX 2 - LIST OF EMBANKMENT DAMS WITH BITUMINOUS CONCRETE FACING	101
APPENDIX 3 - REFERENCES	125

LISTE DES FIGURES ET TABLEAU

- Fig. 1 - Système d'étanchéité d'un barrage en remblai, comportant un masque amont en béton bitumineux
- Fig. 2 - Types de masque d'étanchéité
- Fig. 3 - Exemple de raccordement d'un masque amont monocouche (Type B) à un socle fondé sur du rocher
- Fig. 4 - Exemple de raccordement d'un masque amont bicouche (Type A) à un socle fondé sur du rocher
- Fig. 5 - Exemple de raccordement d'un masque amont bicouche (Type A) à un socle fondé sur un sol perméable
- Fig. 6 - Exemple de raccordement du masque amont à une structure rigide
- Fig. 7 - Exemple de raccordement du masque amont avec la crête
- Fig. 8 - Courbes granulométriques des granulats couramment utilisés dans les masques amont en béton bitumineux [ITCOLD, 1988]
- Fig. 9 - Matériel de mise en place du béton bitumineux
- Fig. 10 - Déformation d'un masque amont en béton bitumineux après remplissage du réservoir [TANAKA et al., 1976]
- Tableau 1 - Méthodes d'essais

LIST OF FIGURES AND TABLE

- Fig. 1 - The water barrier system of an embankment dam with upstream bituminous concrete facing
- Fig. 2 - Types of impervious facing system
- Fig. 3 - Example of connection of the single lining facing (Type B) to a plinth founded on rock
- Fig. 4 - Example of connection of the double lining facing (Type A) to a plinth founded on rock
- Fig. 5 - Example of connection of a double lining facing (Type A) to a plinth founded on pervious soil
- Fig. 6 - Example of connection of the facing to a rigid structure
- Fig. 7 - Example of connection of the facing with the crest
- Fig. 8 - Aggregate size distribution currently used in bituminous concrete facings [ITCOLD, 1988]
- Fig. 9 - Equipment for placing bituminous concrete
- Fig. 10 - Deformation of a bituminous concrete facing after the impounding of the reservoir [TANAKA et al., 1976]
- Table 1 - Test methods

AVANT-PROPOS

Le masque amont en béton bitumineux a été historiquement une réelle solution pour constituer l'organe d'étanchéité de barrages; les progrès continus dans la conception et la construction des masques de ce type ont conduit le Comité des Matériaux pour Barrages en Remblai à procéder à une mise à jour des précédents Bulletins 32 et 39.

Le nouveau Bulletin publié présente la technique actuelle dans le domaine des masques en béton bitumineux; il analyse les critères de conception et les solutions types utilisées, décrit les matériaux de construction et les méthodes d'exécution et de contrôle de qualité, et traite du comportement, de l'inspection et de l'entretien des masques en cours d'exploitation.

Les informations contenues dans ce Bulletin seront très utiles à tous ceux intervenant dans les études, le projet, la construction et l'exploitation de barrages.

Le Bulletin a été préparé par le Sous-Comité Italien des Matériaux pour Barrages en Remblai, présidé par R. Jappelli, des contributions et commentaires ayant été reçus de divers membres de la CIGB. Qu'ils en soient tous vivement remerciés.

Alberto Marulanda P.
Président du Comité des Matériaux
pour Barrages en Remblai

FOREWORD

A bituminous concrete face has been historically a real alternative solution as a water barrier for dams ; the continuous development of the construction techniques and design criteria encouraged the Committee on Materials for Fill Dams to issue a revised edition of the previous Bulletins 32 and 39.

The general contents of this state of the art Bulletin include a review of the design principles and typical solutions used, a description of the construction materials, the construction methods and quality control, and finally discussions and descriptions of the performance, inspection and maintenance for long term operation.

This Bulletin will be an important source of information for all of those involved with research, design, construction and operation of dams.

The Bulletin was prepared by the ITCOLD Sub-Committee on Materials for Fill Dams directed by their Chairman R. Jappelli and the contributions and comments of different ICOLD members. To all of them our greatest appreciation.

Alberto Marulanda P.
Chairman, Committee on
Materials for Fill Dams

1. OBJET DU BULLETIN

Les masques en béton bitumineux sont souvent utilisés comme dispositifs d'étanchéité sur le parement amont des barrages en remblai perméable, en remplacement des dalles en béton, des masques en béton projeté, des feuilles métalliques, des géomembranes, des revêtements en terre ou en sol-ciment.

Le masque en béton bitumineux remplace le noyau en terre à grains fins ou autre type d'écran d'étanchéité placé à l'intérieur du barrage. Le masque bitumineux sert également à protéger le parement amont du barrage contre l'action des vagues, des vents, des pluies et les actes de vandalisme.

Ce Bulletin présente une revue critique et une évaluation de la pratique et des tendances relatives à la conception et à la construction des masques en béton bitumineux pour barrages en remblai, dans le but de fournir des informations essentielles pour de futurs développements.

Le Bulletin fait état de la technique actuelle. On y trouve une description des principaux éléments constituant un masque, un rappel des méthodes de construction adoptées, une description des matériaux utilisés dans les masques composites, des projets types d'un système de masque, des détails sur le raccordement avec d'autres éléments du barrage et sur les joints, quelques détails de construction, des recommandations sur les méthodes d'essais, des exemples de comportement et des informations sur les techniques de réparation. Ce Bulletin ne couvre pas des cas spéciaux.

Les Annexes contiennent des exemples de barrages et de réservoirs, une bibliographie sélectionnée et une terminologie.

1. SCOPE OF THE BULLETIN

Bituminous concrete facings are frequently used as water barriers on the upstream face of pervious embankment dams, as an alternative to concrete slabs, shotcrete membranes, metallic sheets, geomembranes, earth and soil cement blankets.

The bituminous concrete facing acts in lieu of an earthen fine grained core or other type of water barriers in the interior of the dam. The bituminous facing also protects the upstream face of the dam against damage by waves, wind, rainfall and vandalism.

Practice and trends in the design and construction of bituminous concrete upstream facings for embankment dams are critically reviewed and evaluated in this Bulletin for the purpose of providing essential information for future developments.

The Bulletin covers the state-of-the-art of current practice. This includes a review of the main elements of a facing system, a presentation of records from the practice, a description of materials used in composite facings, typical designs of a facing system, details at the interface with other elements of the dam, joints, some construction details, recommendations on testing, performance records, and repair techniques. The Bulletin does not cover special cases.

Records of dams and reservoirs, a selected bibliography and terminology are given in Appendices.

2. ÉLÉMENTS D'UN MASQUE AMONT EN BÉTON BITUMINEUX

Une barrière étanche sur le parement amont d'un barrage en remblai comprend l'ensemble des éléments indiqués sur la Fig. 1. Les raccordements entre ces éléments sont également très importants. Ils intéressent :

- système masque-socle;
- socle-mur parafouille (dans le cas d'un barrage sur une fondation perméable);
- socle-paroi mince d'étanchéité et/ou écran d'injection (quand le barrage est implanté sur une fondation perméable);
- masque-crête du barrage;
- masque-ouvrages annexes (par exemple l'évacuateur de crue).

Le socle est l'élément structural qui relie le masque à la fondation du barrage. Le socle peut varier d'un simple cavalier d'injection à une structure plus articulée qui comprend une galerie de visite et/ou d'injection. Quand le barrage est implanté sur un sol perméable, la barrière étanche est prolongée dans la fondation jusqu'à une profondeur suffisante, qui peut être déterminée au moyen d'un réseau d'écoulement, ou bien le socle est relié à la roche de fondation au moyen d'une paroi mince d'étanchéité ou d'un mur parafouille. Le socle peut également avoir pour fonction de collecter les infiltrations provenant du système de masque et de les acheminer au drain.

La Figure 2 montre que le masque en béton bitumineux est, à son tour, un système composite qui se caractérise par une construction en couches. Chaque couche a une fonction spécifique. Il existe fondamentalement deux types de conception du système de masque composite : le masque bicouche (Type A), schématiquement illustré par la Fig. 2A, et le masque monocouche (Type B), illustré par la Fig. 2B. Dans la solution bicouche (Type A), une couche de drainage est interposée entre les deux couches imperméables (sandwich). Chacun des éléments (imperméable, drainant et couche-support ou de liaison) peut être réalisé avec des matériaux différents et d'épaisseur variable. Chaque couche peut être épandue en une ou plusieurs épaisseurs.

Le parement amont du **remblai** (E) est constitué de matériaux sélectionnés et traités, obtenus à partir de granulats ou d'enrochements plus grossiers, tamisés à une dimension inférieure et placés jusqu'à l'obtention d'une surface relativement unie. Après régularisation, la surface est quelquefois recouverte d'une émulsion bitumineuse cationique ou d'un bitume à forte pénétration. Des bitumes fluxés ont été aussi utilisés pour la préparation et la stabilisation de la couche de base.

Une **couche-support (binder)** (BN) de béton bitumineux perméable est alors épandue et compactée; elle sert de couche de liaison, de régularisation et de fondation du masque.

La couche suivante est en **béton bitumineux imperméable** (I) bien compacté.

2. ELEMENTS OF A BITUMINOUS CONCRETE UPSTREAM FACING

A water barrier on the upstream face of an embankment dam includes the integrated elements described in Fig.1. Connections between these elements are also very important. They include:

- facing system - plinth;
- plinth - cut-off wall (in the case of a dam on impervious foundation);

- plinth - diaphragm and/or grout curtain (when the dam rests on pervious foundation);
- facing - crest of the dam;
- facing - penetration structures (e.g. the spillway).

The plinth is the structural element connecting the facing to the dam foundation. The plinth can range from a simple grout cap to a more articulated structure including a gallery for inspection and/or grouting. When the dam is founded on a pervious soil foundation, the water barrier is prolonged into the foundation to a sufficient depth, that can be established by means of a flow net, or eventually is connected to bedrock by means of a diaphragm or cut-off wall. The plinth could also have the function to collect underdrainage from the facing system, and convey it to the drain.

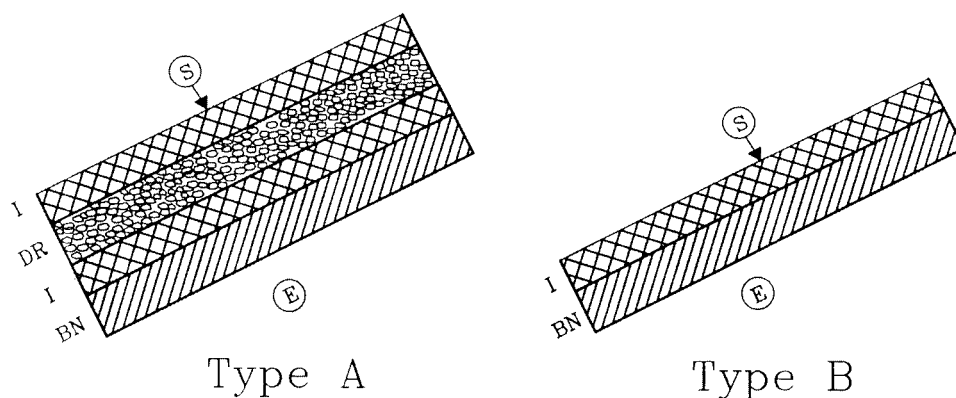
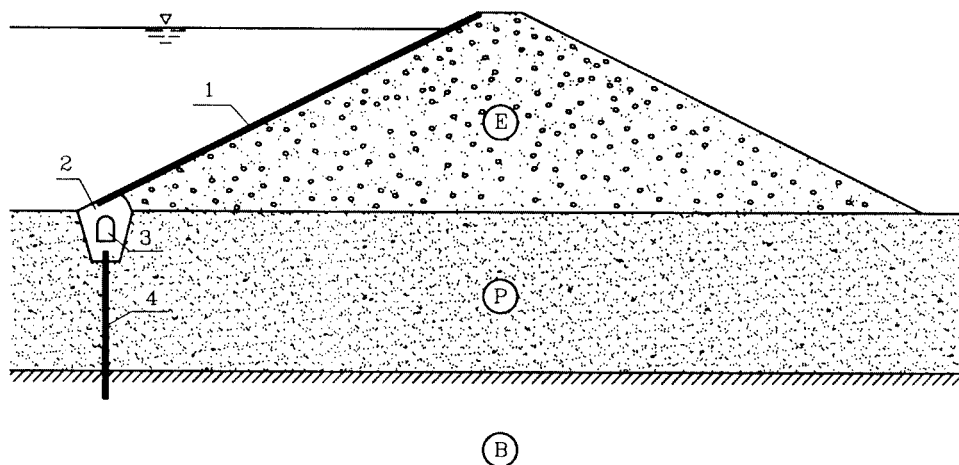
Figure 2 shows that the bituminous concrete facing is in turn a composite system featuring layered construction. Each layer of the system has a specific function. For the composite system of the facing, there are basically two types of design: the double lining facing (Type A), schematically illustrated in Fig. 2A, and the single lining facing (Type B), illustrated in Fig. 2B. In the double lining solution (Type A) a drainage layer is interposed between two impervious layers (sandwich). Each of the components (impervious, drainage and binder layers) can be built in turn with different materials and different thickness. Each layer can be laid down in single or multiple courses.

The upstream face of the **embankment** (E) consists of selected or processed materials, scalped of oversize rock that are trimmed and graded to a relatively smooth surface. After grading, this subgrade is sometimes primed with a cationic bitumen emulsion or with a high-penetration grade bitumen. Cut-back bitumen has also been used to prime and stabilize the subgrade.

A **binder layer** (BN) of a pervious bituminous concrete is then laid down and compacted to serve as binding and levelling layer and foundation for the facing.

The next layer is a well compacted **impervious bituminous concrete layer** (I).

Dans le masque Type A, la couche suivante est la **couche de drainage (DR)**; elle est constituée d'un mélange de granulats bitumineux ouverts. Au-dessus de la couche de drainage, une **seconde couche de béton bitumineux imperméable (I)** est épanchée et compactée.



La surface finie est fermée habituellement avec une émulsion bitumineuse ou un mastic bitumineux (S), pour la protéger contre les intempéries et le vieillissement.

Dans le masque Type B, la couche-support (de liaison) peut être conçue comme couche drainante, ainsi que comme fondation du masque. Dans certains pays, la couche-support est connue sous le nom de couche de base.

In the Type A facing the next layer is the **drainage layer (DR)**; this is made of a bituminous open graded aggregate mix. Above the drainage layer a **second impervious bituminous concrete layer (I)** is laid and compacted.

Fig. 1

The water barrier system of an embankment dam with upstream bituminous concrete facing

Système d'étanchéité d'un barrage en remblai, comportant un masque amont en béton bitumineux

E) Embankment	<i>E) Remblai</i>
P) Pervious foundation soil	<i>P) Sol de fondation perméable</i>
B) Bedrock	<i>B) Fond rocheux</i>
1) Facing system	<i>1) Masque amont</i>
2) Plinth	<i>2) Socle</i>
3) Gallery (optional)	<i>3) Galerie (optionnelle)</i>
4) Diaphragm/cut off wall	<i>4) Paroi d'étanchéité/mur parafouille</i>

Fig. 2

Types of impervious facing system

Types de masque d'étanchéité

A) Double lining facing	<i>A) Masque bicouche</i>
B) Single lining facing	<i>B) Masque monocouche</i>
I) Impervious layer	<i>I) Couche imperméable</i>
DR) Drainage layer	<i>DR) Couche drainante</i>
BN) Binder layer	<i>BN) Couche-support (de liaison)</i>
E) Embankment	<i>E) Remblai</i>
S) Seal coat	<i>S) Couche de fermeture</i>

The finished surface is sealed, usually with a bituminous emulsion or bituminous mastic (S), for protection against weathering and ageing.

In the Type B facing, the binder layer may be designed to act as a drainage layer as well as a foundation for the facing. In some countries the binder layer is referred to as the base layer.

3. HISTORIQUE

Le Baron Van Asbeck a signalé que le barrage ASSUR, construit en Mésopotamie environ 1 300 ans avant J.-C., était le plus vieux barrage connu présentant un masque primitif en béton bitumineux. C'est un fait très significatif, qui témoigne que la conception de tels projets remonte à l'antiquité.

Les constructions modernes qui utilisent des masques en béton bitumineux apparaissent avec le barrage CENTRAL édifié aux États-Unis en 1910. Cet exemple précurseur n'était que l'extension des expériences de construction des grandes routes, les granulats étant utilisés comme macadam, et le bitume étant ajouté comme liant par arrosage.

GENKEL (Allemagne, 1952) est le premier exemple de masque du Type A; MONTGOMERY (États-Unis, 1957) est indiqué comme un premier exemple du Type B.

Depuis 1960, des améliorations sont apparues principalement dans le domaine du matériel et des méthodes de construction, en particulier en ce qui concerne des détails de construction comme les raccordements au socle.

De nombreuses informations statistiques mises à jour sont données à l'Annexe 2.

La plupart des barrages en remblai et des réservoirs avec revêtements en béton bitumineux ont été construits en Europe. Un tiers environ des barrages sont situés à moins de 500 m d'altitude; toutefois, il existe une douzaine d'exemples de barrages de ce type construits dans des climats rigoureux, au-dessus de 2 000 m d'altitude.

Contrairement à ce qui existe en général dans la construction des barrages, on n'observe pas d'augmentation significative de la hauteur avec le temps. Il est important de citer l'évolution de la conception depuis AMECKE (12 m de hauteur), construit en 1934, jusqu'à YASHIO barrage/réservoir supérieur (90,5 m de hauteur) de la station de stockage par pompage, construit en 1988.

Abstraction faite de l'année d'achèvement ou de la hauteur du barrage, la majorité des pentes amont des masques ont été choisies entre les valeurs 1:1,5-1:2,0 (V:H). Ce choix est dû, en plus de la stabilité d'ensemble, principalement à des considérations de stabilité thermique du masque en béton bitumineux visco-élastique placé sur une pente.

Il ne semble pas qu'il existe de tendance concernant l'épaisseur de la couche imperméable externe (I), soit qu'on se réfère à l'année d'achèvement, à la hauteur du barrage ou au climat (comme indiqué par la cote de la crête). Dans la majorité des ouvrages, cette épaisseur varie de 5 à 10 cm, avec une moyenne de 8 cm environ.

À part de rares exceptions, deux types de structure sont adoptés : le type bicouche, Type A, et le type monocouche, Type B. Le Type A a été utilisé sur un tiers des barrages environ. Depuis 1980, les deux types sont à égalité; il y a donc une tendance à accroître l'usage du système Type A.

La comparaison entre les barrages (D) et les réservoirs (R) montre que le système bicouche (Type A) est souvent utilisé pour les barrages, tandis qu'on ne l'emploie que rarement pour revêtir le fond des réservoirs.

Pour les masques Type A et également Type B, les exemples de couche imperméable (I) mise en place en une seule épaisseur augmentent.

3. RECORDS

Baron Van Asbeck reported the oldest known dam with a sort of primitive bituminous concrete facing to be ASSUR, constructed circa 1300 BC in Mesopotamia. That is most significant, because it gives testimony to the antiquity of the design concept.

Modern construction using bituminous concrete facings starts with CENTRAL dam built in the United States in 1910. That early example was an outgrowth of highway practice, with the aggregate being placed as macadam, the binder being added as a spray of penetration grade bitumen.

GENKEL (Germany, 1952) is the first example of a facing of the Type A; MONTGOMERY (United States, 1957), is reported as an early example of the Type B.

Since 1960 improvements have been mainly in the areas of construction equipment and construction practice, besides advancement in some construction details, particularly connections to the plinth.

A great deal of updated statistical information is included in Appendix 2.

Most embankment dams and reservoirs with bituminous concrete facings have been built in Europe. About one-third of the dams are located at less than 500m elevation; however, there are a dozen examples of this type of dam constructed in severe climates above 2000m elevation.

As opposed to dam construction in general, there is no significant increase in height with time. What is important to note is how the state-of-the-art has advanced from AMECKE (12m height) constructed in 1934, to YASHIO dam/upper reservoir (90.5 m height) of the corresponding pumped storage scheme built in 1988.

Regardless of the year of completion or the height of the dam, the majority of upstream facings slopes have been selected in the range of 1:1.5 to 1:2.0 (V:H). Apart from overall stability, this choice is mainly due to considerations related to the thermal stability of the visco-elastic bituminous concrete facing on a slope.

There seems to be no trend in the design of the thickness of the external impervious layer (I), either by year of completion, height of dam or climate (as evidenced by crest elevation). The majority of designs are in the 5 cm to 10 cm range, averaging about 8 cm.

With rare exceptions, two types of structures are adopted: the double layer, Type A, and the single layer, Type B. Type A has been used on about 1/3 of the dams. Since 1980, the design choice is about half and half, so a trend may be inferred towards the increasing use of the Type A system.

The comparison between dams (D) and reservoirs (R) shows that the double lining system (Type A) is often used for dams, whereas it is seldom used for lining the bottom of reservoirs.

With both Type A and Type B facings, examples of the impervious layer (I) being placed in a single course are increasing.

4. CRITÈRES DE CONCEPTION

4.1. INTRODUCTION

Un masque en béton bitumineux, adopté comme barrière étanche sur un barrage en remblai, est souvent compétitif, sur le plan des coûts, par rapport à d'autres dispositifs plus classiques, tels que noyau en terre, ou autres solutions de remplacement comme un masque en béton armé, ou un écran interne d'étanchéité en béton bitumineux.

Par rapport à un noyau en terre ou à un écran interne d'étanchéité, un des éléments significatifs de la compétitivité réside dans le fait que, lorsqu'une barrière étanche convenablement drainée est située sur le parement amont, le remblai peut être conçu sans tenir compte de la pression interstitielle, ni des effets d'une percolation permanente ou d'une vidange rapide. Un autre avantage offert par le masque amont en béton bitumineux est que, après une vidange du réservoir, il est facile d'inspecter le masque, de l'entretenir et de le réparer le cas échéant.

Par rapport aux masques en béton armé, les masques en béton bitumineux offrent l'avantage de pouvoir s'adapter à une déformation raisonnable de la recharge amont sous l'effet de son propre poids et de la charge d'eau du réservoir, suite à la consolidation de la fondation. De plus, l'expérience courante indique que les masques en béton bitumineux ne sont que modérément affectés par les secousses sismiques.

Les remblais à grains grossiers, bien compactés, fournissent un excellent support aux masques en béton bitumineux. Les mêmes masques, placés sur des remblais bien compactés en matériaux plus compressibles, présentent également un bon comportement dans le temps, en particulier sur des réservoirs plus petits et complètement revêtus.

Les méthodes de construction modernes et la conception actuelle de la composition des enrobés permettent la mise en place de masques en béton bitumineux sur des talus aussi raides que ceux exigés par d'autres facteurs. Des masques en béton bitumineux ont été adoptés avec succès comme barrières étanches sur des barrages atteignant 90 mètres de hauteur, et l'expérience actuelle ne met pas de limites à la hauteur des barrages sur lesquels ce système pourrait être sûrement et efficacement utilisé. Toutefois, une extrapolation excessive de cette expérience nécessite des précautions.

Par contre, ces masques, qui sont des éléments structuraux minces, sont exposés à des gradients hydrauliques très élevés et peuvent être endommagés par des actions externes. Des tassements différentiels et des tractions le long de leur périmètre, l'action du gel, des rayons ultra-violets et des chocs mécaniques peuvent causer des dommages. Les masques et les barrages qu'ils protègent doivent donc être soigneusement conçus, construits et exploités.

Les critères de conception, la mise en place du revêtement, la coupe transversale du remblai et les méthodes pour limiter la déformation du masque afin d'obtenir un comportement acceptable sont connus et ne cessent de s'améliorer.

4. DESIGN PRINCIPLES

4.1. INTRODUCTION

A bituminous concrete facing as water barrier for an embankment dam is often competitive, cost-wise, with more conventional designs like an earth core or other alternatives such as a reinforced concrete facing, or a bituminous concrete central diaphragm.

With respect to the earth core or central diaphragm solution, a significant element of competitiveness comes from the fact that when a properly drained water barrier is on the upstream face, a free draining embankment can be designed as pore pressure free, subject neither to steady seepage nor to rapid drawdown effects. An additional advantage offered by an upstream impervious facing is that after a drawdown of the reservoir, the facing is readily accessible for inspection, maintenance and repair.

Bituminous concrete facings offer the advantage, over reinforced concrete facings, of being capable of accommodating reasonable deflection of the upstream shoulder under the influence of embankment's weight and reservoir water load, due to consolidation of the foundation. Moreover, current experience indicates that bituminous concrete facings are only moderately affected by seismic actions.

Well compacted, coarse-grained embankments provide excellent support for bituminous concrete facings. The same facings placed on properly compacted embankments of more compressible materials, also have good performance records, particularly on smaller, fully-lined reservoirs.

Modern construction and mix design methods make it possible for bituminous concrete facings to be placed on slopes which are essentially as steep as required by other factors. Bituminous concrete facings have been used successfully as water barrier on dams up to 90 meters in height and modern experience does not suggest limitations to the height of dams on which this system could be safely and efficiently employed. However, caution should be exercised in extrapolating this experience.

On the other hand, these facings, as thin structural elements, are exposed to very high hydraulic gradients and are susceptible to damage by external actions. Differential settlements and tensions along their perimeter, frost action, ultraviolet rays and mechanical impacts are potential sources of damage. Therefore, the facings and the dams that they protect, must be carefully designed, constructed and operated.

Design criteria, placement of the lining system, embankment's cross section, and methods to limit the deformation of the facing resulting in acceptable performance are known and are in continuous improvement. A variety of

Une variété de matériaux bitumineux servant de liant aux granulats locaux est disponible. Le matériel et les techniques actuels de construction sont très performants, de sorte que les masques bitumineux peuvent être exécutés avec confiance dans des conditions environnementales variées.

Quelques aspects relatifs à la conception sont indiqués dans les paragraphes suivants.

4.2. PRESCRIPTIONS DE CONCEPTION

Pour pouvoir remplir les fonctions de barrière étanche, un masque en béton bitumineux, convenablement conçu et exécuté, doit remplir les conditions suivantes :

- Faible perméabilité pendant toute sa durée de vie.
- Étanchéité des raccordements entre le masque et le socle, entre le socle et le parafouille, et entre le masque et les ouvrages annexes, tels que évacuateur de crue, prise d'eau.
- Flexibilité suffisante, afin que les déformations imposées par le remblai ne provoquent pas de fissurations. Cette condition est également valable pour les raccordements entre le masque et les éléments périphériques rigides, tels que le socle, et également entre le masque et les ouvrages annexes où des tassements différentiels importants peuvent se produire.
- Grande capacité d'allongement sous l'effet de tractions; cette capacité a tendance à diminuer avec le temps si le vieillissement du béton bitumineux n'est pas convenablement maîtrisé.
- Bonne adhérence entre le bitume et les granulats.
- Bonne adhérence du masque à la surface-support du remblai.
- Maîtrise du drainage et de l'érosion dans le cas de percolations à travers le masque.
- Bon drainage sous le système de masque pour maîtriser la pression d'eau résultant de fuites.
- Stabilité à la surface du support pendant la construction, lorsque le mélange de béton bitumineux est encore chaud et déformable, et au-dessus de la gamme des températures de service.
- Résistance au vieillissement dans les conditions environnementales spécifiques au site.
- Résistance à l'arrachage.
- Facilité d'accès à la galerie et au masque à partir de la crête, pour inspection et réparations.

Le projet du masque devra également tenir compte des forces exercées par l'action des vagues et, le cas échéant, des forces sismiques.

La technique et les expériences routières ne peuvent pas être directement appliquées aux structures hydrauliques.

bituminous materials for binding local aggregates are available. Modern construction equipment and techniques have become very efficient, so that nowadays bituminous facings can be constructed with confidence under a variety of environmental conditions.

Some aspects related to design are the subject of the following sections.

4.2. DESIGN REQUIREMENTS

In order to fulfill its function as water barrier, a properly designed and built bituminous concrete facing must satisfy the following requirements :

- Low permeability throughout its lifetime.
- Tightness of connections between the facing and plinth and between the plinth and cut-off and other concrete structures such as spillway, intake.
- Sufficient flexibility, to tolerate without cracking the displacements resulting from the deformation of the supporting embankment. This requirement includes all connections of the facing to unyielding peripheral elements, like the plinth, and to penetration structures where abrupt differential settlements may occur.
- High elongation capability under tensile strains; that capability is liable to decrease with time, if ageing of the bituminous concrete is not adequately controlled.
- Good bond between bitumen and aggregates.
- Good bond of the facing to the supporting surface of the embankment.
- Control of piping and erosion upon leakage through the facing.
- Good underdrainage of the facing system to control water pressure upon leakage.
- Stability on the supporting surface during construction, when the bituminous concrete mix is still hot and deformable, and over the range of service temperatures.
- Resistance to ageing under the site-specific environmental conditions.
- Resistance to stripping.
- Ease of access to the gallery and to the facing from the crest for inspection and repairs.

The design of the facing should also be checked against the forces exerted by wave action and where appropriate, seismic force.

The practice and standards of highway engineering cannot be fully transposed to hydraulic structures.

4.3. ÉTATS LIMITES

Dans un projet moderne, la conception de base est qu'une structure, ou l'une de ses parties, a atteint un **état limite** au moment où elle ne répond plus aux **critères de performance** établis.

Généralement, on considère deux états limites : **l'état limite ultime** et **l'état limite de service**. L'état limite ultime est une condition permanente, qui exige la démolition et/ou la reconstruction. L'état limite de service est une condition temporaire lorsque les dommages ont entraîné un manque de disponibilité de la structure jusqu'au moment de la réparation.

Un projet bien conçu de barrage en remblai avec masque imperméable doit présenter la garantie que le barrage est sûr, même dans le cas où le masque perd son intégrité; ainsi, un état limite ultime relatif à un système de masque devra seulement correspondre à un état limite de service pour le barrage et sa fondation. Il est donc nécessaire de formuler une hypothèse quant à l'importance des dommages possibles, d'estimer la pression interstitielle et/ou le volume d'écoulement à travers le remblai, et de concevoir le remblai en conséquence.

On doit porter une attention particulière au comportement du masque. On devra déterminer les zones critiques, et les mécanismes possibles de rupture devront être classifiés et évalués. Des calculs devront permettre d'établir les débits d'écoulement, les pressions interstitielles et les gradients hydrauliques correspondant à des scénarios d'état limite du masque, et ils devront prouver que ces valeurs sont bien en-dessous des niveaux conduisant à un état limite ultime du remblai ou de sa fondation.

La durabilité est un critère de performance très important. Une durabilité insuffisante du masque peut conduire à un état limite de service ou à un état limite ultime du masque, et en dernier lieu à un état limite ultime du barrage. On doit donc porter une grande attention à la durabilité lors de la conception du projet.

4.4. CALCULS

La méthode de l'état limite est recommandée lors de la conception d'un barrage comportant un système de masque en béton bitumineux. Les calculs géotechniques relatifs au remblai de support doivent être basés sur l'adoption de paramètres significatifs correspondant au « pire qu'on puisse imaginer », et choisis dans la gamme des résultats expérimentaux dont on dispose. La méthode du talus infini est habituellement suffisante pour contrôler la stabilité d'un masque sur le remblai. La stabilité du mélange bitumineux est normalement vérifiée à l'aide de la méthode proposée par Van Asbeck [Van ASBECK, 1955] (*)

La capacité du masque à absorber en toute sécurité les déformations dues au poids du remblai, aux tassements différés de la fondation et aux charges hydrostatiques doit être prouvée. Dans les zones sismiques, on doit prendre en

(*) Les références figurent dans l'Annexe 3.

4.3. LIMIT STATES

It is a basic concept in modern design that a structure, or a part of a structure, has reached a **limit state** as soon as it fails to satisfy one of the stated **performance criteria**.

Two limit states are generally considered: the **ultimate limit state** and the **service limit state**. The ultimate limit state is a permanent condition, calling for demolition and/or reconstruction. The service limit state is a temporary condition in which damages have created a loss of serviceability for the structure, until repairs are made.

Sound design of an embankment dam with impervious facing should offer the guarantee that the dam is safe, even in the event that the facing loses its integrity; i.e. an ultimate limit state for the facing system should only result in a service limit state for the dam and its foundation. This condition requires a hypothesis regarding the size of probable damage, an estimate of the pore pressure and/or quantity of flow through the embankment and finally the design of the embankment to withstand such conditions.

Special attention must be paid to the performance of the facing. Critical areas should be identified and failures likely to take place should be ranked and rated. Computations should document rates of flow, pore pressures and hydraulic gradients associated with limit state scenarios for the facing, and they should prove that these are well below the levels that would lead to an ultimate limit state for the embankment or its foundation.

Durability is a paramount performance criterion. Inadequate durability of the facing can lead to a service or ultimate limit state of the facing, and possibly to an ultimate limit state of the dam. Accordingly, durability must be given great attention in the design process.

4.4. COMPUTATIONS

The limit state approach is recommended for the design of bituminous concrete facing system and dam. The geotechnical computations for the supporting embankment should be based on the "worst credible" assumptions of the significant parameters, over the spectrum of available experimental results. The infinite slope method is usually sufficient to check the stability of the facing on the embankment. Bituminous mix stability is usually tested by the method proposed by Van Asbeck in [Van ASBECK, 1955] (*).

The capability of the facing to safely sustain the displacements due to the weight of the embankment, to the delayed settlements of the foundation, under the action of the hydrostatic loads should be proven. In seismic areas, the seismic

(*) References are given in Appendix 3.

considération aussi les actions sismiques. Pour les masques amont soumis à des conditions ambiantes particulières, il est recommandé d'effectuer une analyse des effets des variations des températures de l'air et de l'eau, et/ou de la charge de la glace et de l'action des vagues. Des méthodes numériques, telles que les méthodes des éléments finis ou des différences finies, offrent un outil excellent pour estimer les déformations du barrage et du masque dans le temps.

Pour une prévision satisfaisante de la réponse mécanique du masque amont, il est très important de considérer que le béton bitumineux est un matériau visco-élasto-plastique avec des propriétés qui sont fortement influencées par la température et par le taux d'application des charges dans le temps. Le comportement plastique est amplifié par l'augmentation de la température et la diminution du taux d'application des charges dans le temps. Les paramètres mécaniques du béton bitumineux sont fonctions de la combinaison température-taux d'application des charges et de la composition du béton (dosage et qualité du bitume, type de granulats, degré de compacité). Dans quelques cas particuliers, des analyses numériques tridimensionnelles sont nécessaires pour représenter de façon suffisamment précise le comportement mécanique du complexe masque amont-barrage-fondation.

Pour ce qui est des matériaux sans cohésion et des talus raides, le compactage peut ne pas être suffisant sur la partie externe d'une couche, à cause du confinement insuffisant. Bien qu'utiles, les finitions et les passages de rouleaux sur la pente ne conduisent généralement pas à un compactage convenable. Il en résulte une raideur plus basse du matériau dans la zone de support et des déformations du masque, au cours des premiers cycles de remplissage, plus importantes que celles qui avaient été prévues avec l'hypothèse d'un matériau homogène. Les calculs devront donc être effectués en supposant des paramètres de raideur réduits pour les matériaux de la couche de support et/ou pour ceux constituant la zone externe de 1 à 2 mètres du remblai.

Il n'est pas approprié de faire des recommandations générales au sujet de l'importance de la déformation du masque qui pourrait être tolérée. La déformation acceptable peut être évaluée au moyen d'essais en laboratoire sur des échantillons du masque [ISHI & KAMIJO, 1988]. On peut recommander de comparer ces déformations acceptables avec les déformations résultant de l'interprétation des résultats d'une analyse numérique.

Un mélange de béton bitumineux se libérera lui-même des contraintes internes par allongement et fluage, de sorte que le niveau admissible de déformation est fonction du temps. Des flexions importantes peuvent avoir lieu sous une charge graduelle et persistante.

Toutefois, comme il existe une possibilité de soudaines déformations provoquées par des charges sismiques, il est recommandé de calculer le débit de percolation variable résultant d'un mécanisme de rupture supposée, par exemple l'ouverture d'un joint horizontal dans le masque. Le résultat fournira l'élément de base pour la conception du système de drainage interne du barrage, qui assurera l'acheminement sûr du débit vers l'aval sans qu'un état limite de service soit atteint pour le remblai.

actions must be taken into account. For facings subjected to extreme environmental conditions, an analysis of the effects of air and water temperature variation and/or ice and wave loads, is recommended. Numerical methods, such as finite elements or finite differences methods, offer a fine tool for estimating the deformation of the dam and facing with time.

For an accurate prediction of the mechanical response of the facing, it is important to take into account that the bituminous concrete mix is a visco-elasto-plastic material with properties strongly dependent on temperature and time strain rate. The plastic behaviour is amplified by temperature increase and time strain rate decrease. The mechanical parameters of the bituminous concrete mix are functions of the combination temperature-strain rate and of the mix composition (bitumen type and content, aggregate type, compaction degree). In some special cases, three-dimensional numerical analyses are required to accurately model the mechanical behaviour of the facing-dam-foundation system.

For cohesionless materials and steep slopes, compaction may be inadequate in the outer portion of a course due to insufficient confinement. Although helpful, trimming and upslope rolling usually do not result in adequate compaction. The defect results in a lower stiffness of the supporting zone material and in facing deformations, upon early impounding cycles, larger than those predicted assuming a homogeneous material. Therefore, computations should be performed assuming reduced stiffness parameters for the materials of the supporting layer and/or for those placed in the outer 1 to 2 meters of the embankment.

A general recommendation regarding the amount of deformation that a facing should be designed to tolerate is not appropriate. Values of allowable strain may be evaluated by means of laboratory tests on samples of the facing [ISHI & KAMIJO, 1988]. It is recommended that these allowable strains be compared with deformations resulting from the interpretation of a numerical analysis.

A bituminous concrete mix will stress relieve itself through yielding and creep such that the tolerable level of deformation is time dependent. Relatively large deflections may be reached as a result of a gradually applied and lasting load.

However, as the possibility of sudden deflections arising from seismic loads exists, an analysis of the unsteady seepage flow resulting from an assumed rupture mechanism of the facing is recommended; e.g. the opening of an horizontal joint in the facing. The result will provide the basis for designing an interior drainage system of the dam to safely convey the flow downstream without reaching any state worse than a service limit state for the embankment.

5. SOLUTIONS TYPES

5.1. COUCHE-SUPPORT

Avant la mise en place de la couche-support (de liaison), une émulsion bitumineuse ou un bitume à chaud est pulvérisé sur la surface du remblai comme enduit de stabilisation (tack coat). La quantité habituelle de cette émulsion varie entre 2 et 5 kg/m².

La couche-support remplit les fonctions suivantes :

- fixation de la couche imperméable à la surface d'application du revêtement, au moyen d'un bon enchevêtrement des granulats;
- transition entre le béton bitumineux et le remblai, en termes de déformabilité et de perméabilité;
- nivellement des irrégularités de la surface du remblai;
- capacité portante pour la mise en place et le compactage appropriés de la couche imperméable.

Généralement, l'épaisseur de la couche-support est de 4 à 10 cm.

La couche-support bitumineuse devra contenir assez de vides pour permettre de libérer la vapeur et éviter ainsi la formation de cloques, surtout sur la portion du masque qui n'est pas continuellement submergée.

5.2. COUCHE IMPERMÉABLE

À part de rares exceptions, on adopte les structures de deux types, décrites au chapitre 2 : le Type A, bicouche, et le Type B, monocouche (Fig. 2). Le Type B peut également être associé à une galerie de visite.

Le masque du Type A réduit la probabilité que le remblai soit affecté par l'eau du réservoir, ce qui augmente le niveau de sécurité global du barrage. Pour cette raison, un système bicouche devra être toujours recommandé dans des cas spéciaux, à savoir dans les cas de barrages de très grande hauteur, de barrages en zone sismique, de barrages situés sur des sols extrêmement compressibles. Naturellement, un système bicouche (Type A) coûte plus cher qu'un masque monocouche (Type B).

En cas de fissuration du revêtement externe, un système de revêtement bicouche bien conçu assurera la dérivation des fuites en dehors du corps du barrage.

Dans la solution du Type A, seule la couche supérieure doit être considérée comme barrière d'étanchéité réelle. La couche imperméable interne est prévue pour protéger le remblai contre la saturation et l'érosion, et pour servir de limite à la couche de drainage, afin que l'infiltration puisse être contrôlée. La couche interne

5. TYPICAL SOLUTIONS

5.1. BINDER LAYER

Before the placing of the binder layer, a bituminous emulsion or a hot bitumen is sprayed on the embankment surface as a tack coat. The usual amount of such priming varies between 2 and 5 kg/m².

The binder layer performs the following functions:

- fixing the impervious layer to the subgrade by a good interlock of aggregate;
- transition between the bituminous concrete and the embankment in terms of deformability and permeability;
- levelling of irregularities of the embankment surface;
- bearing capacity for the proper placing and compaction of the impervious layer.

Usually the bituminous binder layer is 4 cm to 10 cm thick.

The bituminous binder layer should have a sufficient void content in order to act as a vapour-spreading layer and to avoid the formation of blisters on the part of the facing not continuously covered with water.

5.2. IMPERVIOUS LAYER

With rare exceptions, structures of two types, described in par. 2, are adopted: the double lining, Type A, and the single lining, Type B (Fig. 2). The Type B design may also be associated to an inspection gallery.

Type A facing reduces the probability for the embankment to be affected by the reservoir water. This increases the overall safety level for the dam. Therefore a double layer system should always be recommended for special cases, e.g. for very high dams, dams in seismic areas, dams resting on compressible soils. Of course, a double lining system (Type A) costs more than a single lining (Type B).

A well designed double lining system will ensure that in case of failure of the outer lining the bulk of the leakage will be diverted from the body of the dam.

Only the top layer is to be considered as the actual water barrier for the dam in Type A solution. The inner impervious layer is provided to protect the embankment from saturation and erosion, and to confine the drainage layer so that seepage can be monitored. The inner layer is usually designed with the same mix and thickness

présente généralement la même composition et la même épaisseur que la couche externe, mais en principe elle pourrait avoir des caractéristiques différentes et peut-être moins rigoureuses.

La structure bicouche et la galerie de drainage/visite permettent une détection rapide des fuites et une localisation assez précise de leurs lieux d'origine lorsque la couche de drainage est divisée verticalement en sections. Aussi, la structure bicouche en sandwich (Type A) sert-elle aussi de détecteur de fuites.

Un système monocouche (Type B) permet de réduire le temps de mise en place et les coûts de construction. Cependant, en l'absence de galerie dans le socle, la détection et la localisation des fuites sont difficiles. Dans ce cas, le système repose sur le remblai pour l'acheminement des fuites résultant de dégâts. Le zonage du remblai ainsi que les matériaux doivent permettre de faire face à ces problèmes.

Indépendamment du type de masque, il est souhaitable que la perméabilité du remblai augmente vers l'aval.

Des dommages de même importance dans la couche imperméable produiront des conditions d'infiltration différentes selon qu'on a adopté la solution avec ou sans galerie. Ainsi, dans le Type A, le chemin d'écoulement jusqu'à la galerie sera court et la perméabilité très élevée; dans le Type B, le chemin d'écoulement jusqu'au pied aval du remblai sera plus long et la perméabilité sera plus faible.

Dans une couche imperméable, les fuites peuvent augmenter à un point tel que l'état limite du barrage est atteint, indépendamment du type de masque. Cependant, si les deux types de revêtement peuvent atteindre un état limite quand les percolations à travers le remblai sont excessives, le Type A peut également atteindre un état limite quand l'écoulement de l'eau vers la couche drainante et la galerie de drainage devient excessif, même si le remblai n'est pas particulièrement affecté.

Normalement l'épaisseur de la couche imperméable est de 6-8 cm. Il y a des exceptions; par exemple, à YASHIO (1992), on a mis en place une couche imperméable de 15 cm, en trois épaisseurs, sur un barrage, de 90,5 m de hauteur, situé dans une zone présentant une activité sismique.

Des solutions en une seule épaisseur sont plus courantes dans les exemples récents, étant donné qu'elles permettent d'assurer un meilleur compactage avec les surfaceuses modernes.

Une solution en une seule épaisseur ne présente pratiquement pas de phénomènes de séparation de couche, lesquels se sont produits sur certains barrages. De plus, en épandant la couche imperméable en une seule épaisseur, on évite la formation de cloques.

Si toutes les épaisseurs ont la même composition, la réalisation en une seule épaisseur est avantageuse car elle comporte moins d'opérations de mise en place. Le second avantage est que plus l'épaisseur est grande, plus longtemps elle retient la chaleur, ce qui permet un bon compactage et une bonne suture à la bande de finissage adjacente.

Actuellement, la pratique consiste à épandre en une seule épaisseur la couche imperméable en béton bitumineux. Toutefois, il existe des exemples de réalisation avec deux épaisseurs : par exemple, MENTA et ARCICHIARO.

of the outer one, but in principle it could have different and perhaps less stringent characteristics.

The double lining structure and drainage/inspection gallery system allows an early detection of leaks and a fairly accurate location of the sources of leakage if the drainage layer is divided vertically into sections. Therefore, the sandwich arrangement (Type A) performs also the function of leakage detector.

A single lining system (Type B) reduces placement time and construction costs. However, if there is no gallery in the plinth, leakage detection and location are difficult. In the absence of a gallery, the system must rely on the embankment to convey any flow resulting from damage. Both the embankment zoning and materials must be adequate to withstand such conditions.

Irrespective of the type of layer system, it is helpful if the embankment permeability increases moving downstream.

Two different seepage conditions are produced in the two cases with and without a gallery by the same impervious layer damages; e.g. in Type A the flow path to the gallery will be short and permeability very high; in Type B, the flow path to the downstream toe of the embankment will be larger and the permeability lower.

Leaks in the impervious layer may increase to the point where a limit state is attained for the dam irrespective of the type of facing. However, while both types of facing may attain a limit state because the seepage through the embankment is excessive, Type A facing may also attain a limit state when the water flow toward the drainage layer and the drain gallery becomes excessive, even though the embankment is substantially unaffected.

Typically, the impervious layer is 6-8 cm thick. There are exceptions; e.g. at YASHIO (1992) a 15 cm thick impervious layer was placed in three courses on a 90.5 m high dam located in an area of seismic activity.

Single course solutions are more common in recent examples on account of the possibility of achieving better pre-compaction by modern finisher screeds.

A single course is practically free from layer separation phenomena which have been experienced at some dams. Moreover, placing the impervious layer in a single course prevents blistering.

If all courses are of the same mix design, the single course construction is convenient as there are less construction operations. It also has the advantage that the thicker the course the longer it will hold its heat, allowing good compaction and seaming to the next finisher lane.

In recent practice the impervious layer of bituminous concrete is normally laid in a single course. However, there are a number of examples of two courses construction; e.g. MENTA and ARCICHIARO.

5.3. COUCHE DE DRAINAGE

La couche de drainage est un mélange bitumineux poreux (enrobés ouverts) obtenu à partir d'un mélange de granulats sans éléments fins. Les dimensions minimales des granulats sont généralement comprises entre 5 et 8 mm. Dans de nombreux ouvrages, l'épaisseur de la couche de drainage varie de 5 à 15 cm; cependant, une limite inférieure de 8 cm est recommandée. La teneur en bitume doit varier selon le mélange, mais il est de 2 à 5 pour cent (par rapport au poids de granulats). La couche de drainage est mise en place en une seule épaisseur, avec un compactage léger. On utilise parfois des bitumes à faible pénétration pour augmenter la raideur du talus amont.

Souvent, on ne tient pas compte de la stabilité de la couche de drainage; cependant, en raison du pourcentage plus élevé de vides (c'est-à-dire, peu de contacts entre les particules et contrainte de cisaillement élevée aux contacts), et du compactage plus léger, la couche de drainage est souvent le siège de fissures indésirables qui se propagent dans la couche imperméable.

5.4. COUCHE DE FERMETURE

La couche de fermeture consiste en une émulsion de bitume appliquée à froid, ou un mastic bitumineux appliqué à chaud (30 pour cent environ de bitume, 70 pour cent de sable fin et de filler, et quelquefois des fibres).

La couche de fermeture est fondamentale pour la durée de vie du masque, car elle retarde le processus de vieillissement. Le vieillissement est la conséquence de l'évaporation des éléments volatils du bitume à la surface du béton bitumineux; ce processus durcit le bitume, le rend fragile et sujet à fissuration.

L'affaissement de la couche de fermeture se produit généralement quand les couches sont trop épaisses. Par conséquent, les couches de fermeture en mastic chaud doivent avoir une épaisseur ne dépassant pas 2 mm et être épandues de préférence en deux étapes. L'humidité sur la surface du béton bitumineux s'évaporerait sous l'effet de la chaleur du mastic lors de la première passe. La deuxième passe éliminerait les trous laissés par la vapeur qui s'échappe du dessous de la première couche. Afin de prévenir l'affaissement de couches de fermeture plus épaisses, on utilise la technique de mise en place la plus avancée au moyen d'épanduses qui permettent d'obtenir un ajustement soulèvement/abaissement.

Dans des cas exceptionnels, il peut être prévu une couche supplémentaire qui assure la même protection que la couche de fermeture, mais offre en plus une protection contre les chocs produits par des blocs de roche ou de glace tombant d'appuis abrupts.

5.5. RACCORDEMENT À UNE FONDATION ROCHEUSE

Le masque en béton bitumineux est raccordé au rocher de fondation par un socle en béton armé. Le raccordement entre le masque et le socle est le détail le plus

5.3. DRAINAGE LAYER

The drainage layer is a porous bituminous mix obtained with a fine free aggregate mix. The minimum aggregate size is normally selected in the range 5 to 8 mm. In a number of projects the thickness of the drainage layer varies from 5 to 15 cm; however, a lower limit of 8 cm is advisable. The bitumen content must be adjusted to the mix, but it is in the range of 2 to 5 % (by aggregate weight). The drainage layer is placed in a single course, with low compaction effort. Bitumens of low penetration are sometimes used to increase the steepness of the upstream slope.

The stability of the drainage layer is often overlooked; as a matter of fact, due to the higher percentage of voids (i.e. few interparticle contacts and high shear stress at contacts) and to the low compaction, the drainage layer is often the seat of undesirable creep that is transferred to the impervious layer.

5.4. SEAL COAT

The seal coat consists of a cold-applied, bitumen emulsion or a hot-applied bitumen mastic (about 30 % bitumen, 70 % filler and fine sand and, sometimes, fibres).

The seal coat is essential to the life time of the installation because it delays the ageing process. Ageing is a consequence of evaporation of the volatiles of the bitumen from the surface of the bituminous concrete; this process hardens bitumen, makes it brittle and subject to cracking.

Slumping of the seal coat usually develops when coats are placed too thick. Therefore, hot-mastic seal coats should not be thicker than about 2 mm and preferably should be spread in two courses. The moisture on the surface of the bituminous concrete will evaporate under the heat of mastic during the first pass. The second pass will close the pinholes left by the steam evaporating from below the first layer. To help avoid slumping of thicker seal coats, the most advanced technique spreader boxes are provided with rise-and-fall adjustment.

In exceptional cases there can be an additional layer that beside the normal coating protection, provides defense against mechanical attack like boulders or blocks of ice falling from steep abutments.

5.5. CONNECTION TO A ROCK FOUNDATION

The bituminous concrete facing is connected to the foundation rock with a reinforced concrete plinth. The connection of the facing to the plinth is the most

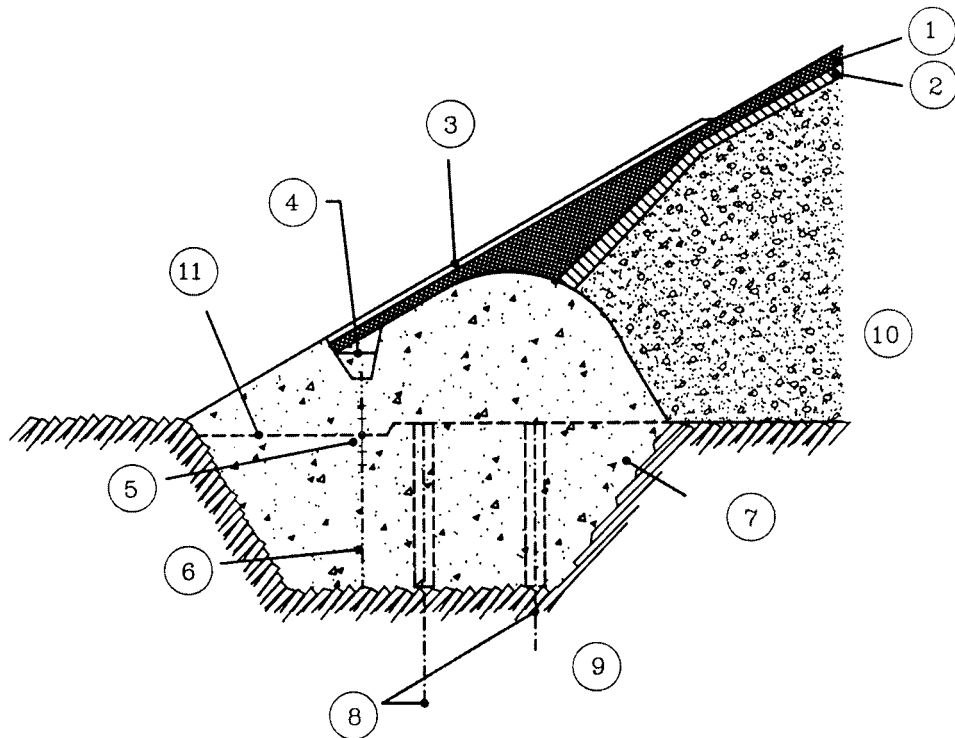
important de tout le système de masque. Étant donné que le masque se déforme lorsque le remblai se tasse, il se produit un mouvement différentiel entre le masque flexible et le socle rigide, et il faut en tenir compte lors de la conception du raccordement.

Le masque doit chevaucher sur le socle de manière que le joint de raccordement soit parallèle plutôt que perpendiculaire au masque. Il vaut mieux fixer le masque au socle plutôt que de prévoir un waterstop. Des exemples de raccordement sont donnés sur les Figures 3 et 4.

L'épaisseur du masque devra être progressivement augmentée au point de raccordement avec le socle pour offrir une transition en rigidité et moment d'inertie. Il y a des cas où le raccordement du masque avec le socle est recouvert avec un béton bitumineux renforcé par des matériaux géosynthétiques ou des fibres de verre, jouant un rôle d'inhibiteur de fissures.

La conception de la section transversale du raccordement entre le masque et le socle doit être telle que le finisseur puisse épandre la couche bitumineuse jusqu'au bord.

Le socle est coulé dans une tranchée avec ou sans tirants injectés. L'écran d'injection est exécuté depuis le dessus du socle, de manière à bien lier le socle au rocher. La roche environnante est souvent injectée sous forme d'un tapis, afin de prévenir des percolations par court-circuit.



important detail of the entire facing system. Since the facing necessarily yields as the embankment settles, differential movement between the flexible facing and the rigid plinth will occur and must be allowed for in the design of the connection.

The facing should lap over the plinth, so that the connecting joint is parallel, rather than perpendicular to the facing. The facing should be bonded to the plinth, rather than providing a waterstop. Examples of connections are given in Figures 3 and 4.

The facing should be progressively thickened at the connection with the plinth to provide a transition in stiffness and moment of inertia. There are examples where the connection of the facing to the plinth is capped with bituminous concrete reinforced with geosynthetic or fibreglass material as a crack inhibitor.

The design of the cross-section of the plinth-facing connection should be such that the finisher will be able to place the bituminous course right down to the edge.

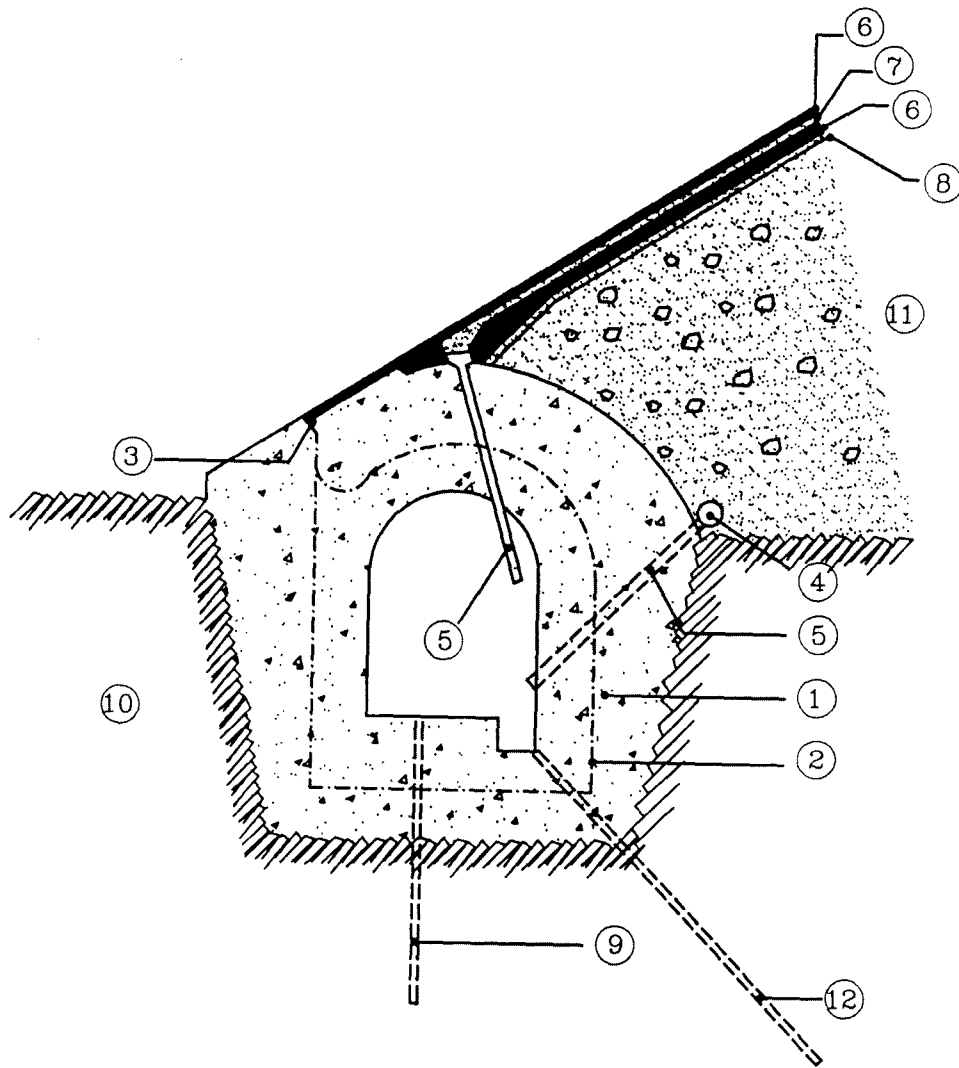
The plinth is keyed in a trench, with or without grouted anchors. The grout curtain is accomplished from above the plinth so as to grout the plinth to rock effectively. The surrounding rock is often blanket grouted to prevent “ short circuit ” seepage.

Fig. 3

Example of connection of the single lining facing (Type B)
to a plinth founded on rock

*Exemple de raccordement d'un masque amont monocouche (Type B)
à un socle fondé sur du rocher*

- | | |
|---|--|
| 1) Bituminous concrete impervious layer | 1) <i>Couche imperméable en béton bitumineux</i> |
| 2) Bituminous binder layer | 2) <i>Couche-support (de liaison) bitumineuse</i> |
| 3) Bituminous concrete protective layer | 3) <i>Couche protectrice en béton bitumineux</i> |
| 4) Sand mastic bituminous filling | 4) <i>Remplissage en mastic sableux bitumineux</i> |
| 5) Horizontal waterstop | 5) <i>Waterstop horizontal</i> |
| 6) Vertical waterstop | 6) <i>Waterstop vertical</i> |
| 7) Plinth | 7) <i>Socle</i> |
| 8) Grouting | 8) <i>Injections</i> |
| 9) Rock | 9) <i>Rocher de fondation</i> |
| 10) Embankment | 10) <i>Remblai</i> |
| 11) Structural joint | 11) <i>Joint structural</i> |



5.6. RACCORDEMENT À UN SOL DE FONDATION

Bien que les déformations prévues puissent être beaucoup plus importantes, les principes et les détails du raccordement du socle à un sol de fondation sont semblables à ceux décrits pour une roche de fondation.

Une paroi étanche est généralement adoptée comme parafouille (Fig. 5). Les parois étanches pénètrent seulement jusqu'à une profondeur suffisante pour allonger le chemin d'écoulement, de sorte que les gradients de sortie ne dépassent pas le niveau de sécurité. Dans certains cas, le sol de fondation a été injecté quand il était constitué d'alluvions graveleuses. Le socle joue le rôle de recouvrement du parafouille ou de l'écran d'injection. Le raccordement est une zone très vulnérable

Fig. 4

Example of connection of the double lining facing (Type A)
to a plinth founded on rock

*Exemple de raccordement d'un masque amont bicouche (Type A)
à un socle fondé sur du rocher*

- | | |
|-----------------------|--------------------------------|
| 1) Plinth | 1) Socle |
| 2) Waterstop | 2) Waterstop |
| 3) Copper sheet | 3) Feuille de cuivre |
| 4) Drain | 4) Drain |
| 5) Seepage collectors | 5) Collecteurs d'infiltrations |
| 6) Impervious layers | 6) Couches imperméables |
| 7) Drainage layer | 7) Couche drainante |
| 8) Binder layer | 8) Couche-support (de liaison) |
| 9) Grouting | 9) Injection |
| 10) Rock | 10) Rocher de fondation |
| 11) Embankment | 11) Remblai |
| 12) Relief well | 12) Rideau de drainage |

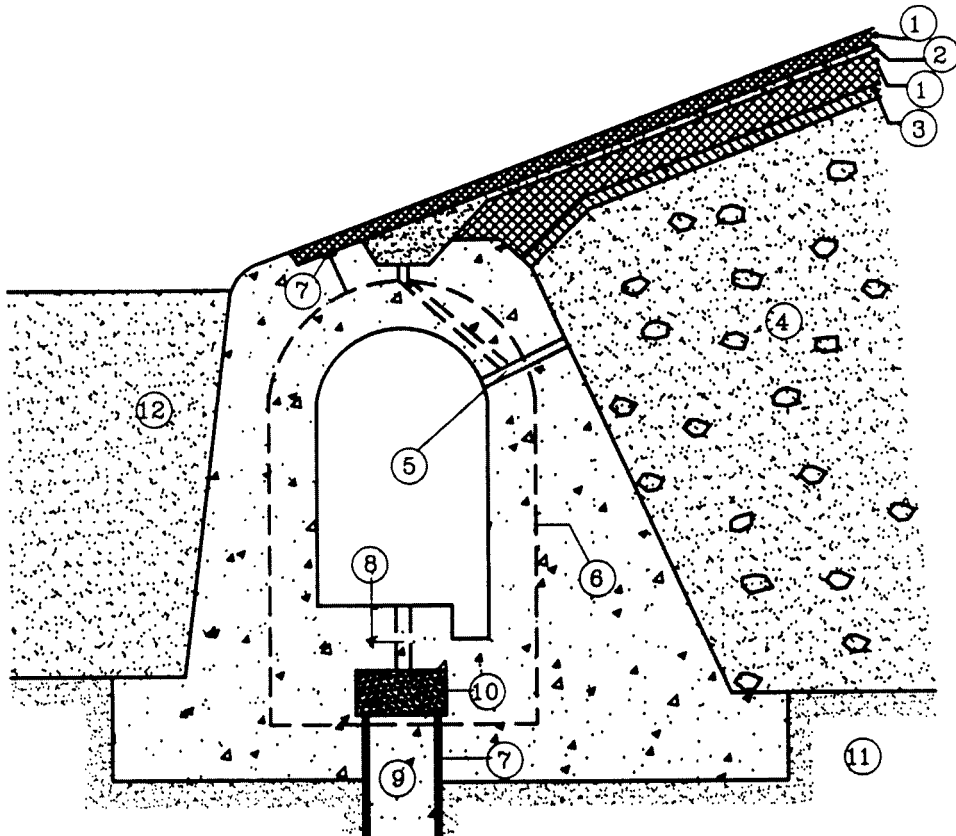
5.6. CONNECTION TO A SOIL FOUNDATION

Although the expected movements can be much larger, the principles and details of the connection of the plinth to a soil foundation are similar to those previously discussed for a rock foundation.

A diaphragm wall is generally adopted as cut-off (Fig. 5). Diaphragm walls may penetrate only to a depth sufficient to lengthen the seepage path such that exit gradients are kept within a safe level. In some cases, when the soil foundation consisted of gravel alluvium, it has been grouted. The plinth functions as a cap on the cut-off wall or on the grout curtain. The connection is vulnerable to seepage and piping, because of the very short seepage path over the top of the cut-off. Therefore,

aux percolations et aux érosions, en raison du très court chemin d'écoulement qui existe au-dessus de la partie supérieure du parafouille. Il est donc important que le socle soit conçu en détail pour s'adapter aux déformations.

Des waterstops sont utilisés aux joints de construction dans le socle et aux raccordements entre le socle et le parafouille.



Les socles situés sur un terrain de fondation compressible, avec ou sans galerie, nécessitent une conception très étudiée, afin qu'ils s'adaptent en toute sécurité aux déformations horizontales et verticales du barrage sur sa fondation. Souvent, les forces résultant des déformations imposées produisent une rotation du socle et de la galerie. Ce phénomène peut entraîner le déchirement du masque et provoquer de sérieuses fuites.

5.7. GALERIE PÉRIMÉTRALE

Au cours d'une vidange rapide, on doit empêcher que les sous-pressions n'entraînent la destruction de la couche imperméable. L'eau de percolation doit être recueillie et restituée à l'aval, ou doit pouvoir passer à travers le barrage. Dans le

it is important that the plinth details will accommodate movements to an adequate extent.

Waterstops are used at construction joints in the plinth and at the connections of the plinth to the cut-off.

Fig. 5

Example of connection of a double lining facing (Type A)
to a plinth founded on pervious soil

*Exemple de raccordement d'un masque amont bicouche (Type A)
à un socle fondé sur un sol perméable*

- | | |
|--|---|
| 1) Impervious bituminous layers | 1) <i>Couches bitumineuses imperméables</i> |
| 2) Drainage layer | 2) <i>Couche drainante</i> |
| 3) Binder layer | 3) <i>Couche-support (de liaison)</i> |
| 4) Embankment | 4) <i>Remblai</i> |
| 5) Leakage collectors | 5) <i>Collecteurs d'infiltrations</i> |
| 6) Waterstop | 6) <i>Waterstop</i> |
| 7) Waterstop embedded in bituminous mastic | 7) <i>Waterstop enrobé dans un mastic bitumineux</i> |
| 8) Vertical drain | 8) <i>Drain vertical</i> |
| 9) Concrete diaphragm/cut off wall | 9) <i>Paroi d'étanchéité/mur parafouille en béton</i> |
| 10) Expanded polystyrene | 10) <i>Polystyrène expansé</i> |
| 11) Soil foundation | 11) <i>Sol de fondation</i> |
| 12) Earthfill | 12) <i>Remblai en terre</i> |

Plinths on soil foundations, with or without a gallery, require a very careful design to accommodate safely horizontal and vertical deformations of the dam on its foundation. Often the forces arising from imposed deformations produce rotation of the plinth and of the gallery. This phenomenon can tear the facing and develop serious leaks.

5.7. PERIPHERAL GALLERY

During rapid drawdown, uplift pressure must be prevented from destroying the impervious layer. Seepage water must be collected and discharged downstream or must be able to pass through the dam. The logical seepage collection point for Type

Type A, l'endroit convenable pour recueillir les infiltrations est le socle (Fig. 4). Le collecteur peut être soit une conduite périmétrale, soit une galerie de visite logée dans le socle. Il est recommandé de diviser le système de détection des fuites par infiltration en compartiments, de façon que toute infiltration puisse être localisée dans une section spécifique du masque. La même approche a été adoptée pour un certain nombre de barrages avec masque du Type B et galerie.

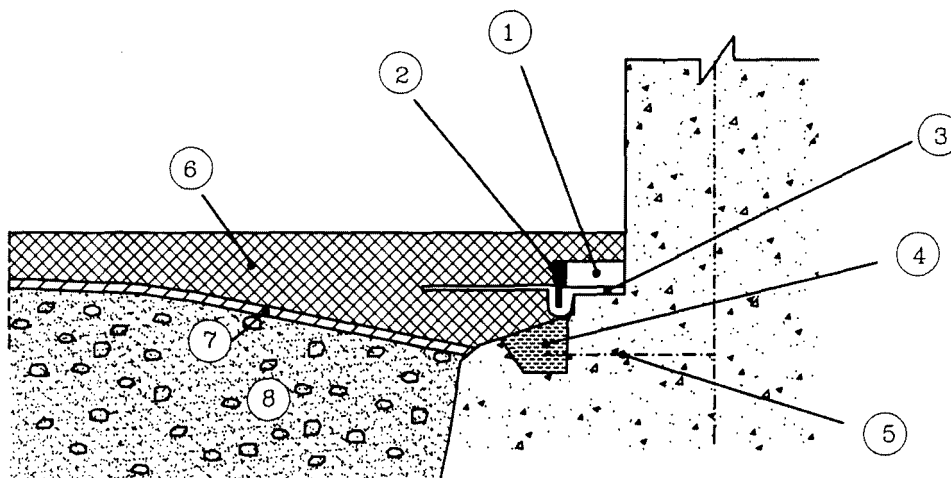
La galerie offre plusieurs avantages, tels que le contrôle des infiltrations, l'accès pour des travaux d'injection après construction et l'accès aux appareils de mesures. Toutefois, la construction d'un socle comportant une galerie représente un investissement important et exige une conception soignée. Pour cette raison, la construction de la galerie doit être pleinement justifiée du point de vue coût et/ou exploitation.

Des waterstops sont utilisés entre les plots adjacents de la galerie. Une articulation est généralement prévue entre la galerie et le mur parafouille (Fig. 5).

5.8. RACCORDEMENT AUX OUVRAGES ANNEXES

Le raccordement entre le masque sujet à déformation et une structure rigide apparaît comme un problème délicat. Le projet doit être soigneusement établi et la forme des raccordements doit être conçue afin que les forces hydrostatiques tendent à fermer le joint. Il faut éviter toute compressibilité différentielle importante.

Un procédé couramment adopté est illustré sur la Fig. 6.



5.9. RACCORDEMENT À LA CRÊTE DU BARRAGE

Ce raccordement a deux fonctions principales : recouvrir le masque de façon à empêcher que le drainage de surface ne pénètre dans les couches internes, et, si nécessaire, former un parapet contre les vagues. Un exemple caractéristique est donné sur la Fig. 7.

A system is the plinth (Fig.4). The collector can either be a peripheral pipe encased by the plinth or a walk-in gallery in the plinth. It is convenient to divide the seepage detection system into compartments, so that any seepage can be related to a specific section of the facing. The same approach has been adopted at a number of dams which have a Type B facing and a gallery.

A gallery offers a number of advantages such as seepage monitoring, access for post construction grouting and access to instrumentation. However, the inclusion of a gallery in the plinth involves a significant capital investment and requires proper design. For this reason, a gallery should be fully justified from a cost and/or from an operation standpoint.

Waterstops are provided between adjacent gallery blocks. A hinge is normally necessary between the gallery and the cut-off wall (Fig. 5).

5.8. CONNECTION TO ANCILLARY STRUCTURES

The problem of connecting the yielding facing to a rigid structure is a critical one. Careful design is required and connections should be shaped so that hydrostatic forces will tend to close the joint. Abrupt differential compressibility is to be avoided.

A typical approach is illustrated in Fig. 6.

Fig. 6

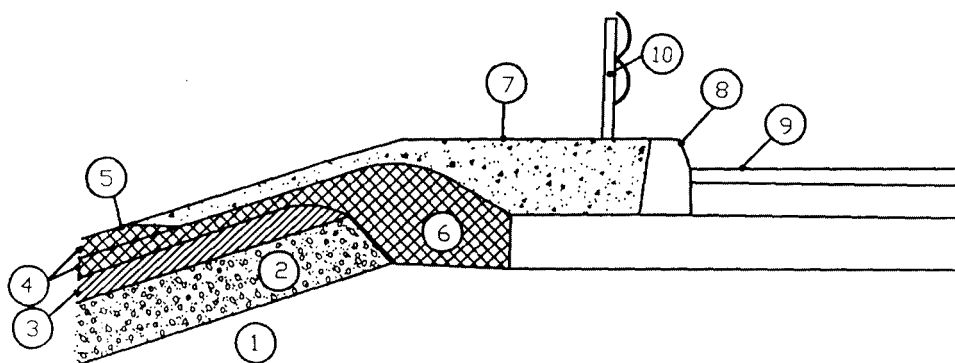
Example of connection of the facing to a rigid structure

Exemple de raccordement du masque amont à une structure rigide

- | | |
|-----------------------------------|---|
| 1) Concrete block glued-in | 1) <i>Bloc en béton enclavé</i> |
| 2) Bituminous sealing compound | 2) <i>Composé bitumineux de fermeture</i> |
| 3) Copper foil with unfilled loop | 3) <i>Feuille de cuivre en forme de boucle</i> |
| 4) Bituminous mastic | 4) <i>Mastic bitumineux</i> |
| 5) Waterstop | 5) <i>Waterstop</i> |
| 6) Bituminous concrete facing | 6) <i>Masque en béton bitumineux</i> |
| 7) Bituminous binder | 7) <i>Couche-support (de liaison) bitumineuse</i> |
| 8) Embankment | 8) <i>Remblai</i> |

5.9. CONNECTION TO DAM CREST

This connection has two basic functions: to cap the facing in a manner that will prevent surface drainage from entering the inner layers; and if required, to close against a wave parapet. A typical example is represented in Fig. 7.



Le parapet peut être une solution efficace pour maîtriser l'action des vagues dans des réservoirs soumis aux vents et a été adopté comme solution économique pour réduire le volume du barrage qui aurait été nécessaire pour assurer la revanche. Toutefois, la solution du parapet n'est pas sans problèmes, car le mur du parapet constitue un sérieux obstacle en cas de travaux de réparation importants. Si un parapet est adopté, il est recommandé d'utiliser des éléments en béton préfabriqués et amovibles.

Fig. 7

Example of connection of the facing with the crest

Exemple de raccordement du masque amont avec la crête

- | | |
|-------------------------------------|---|
| 1) Embankment | 1) <i>Remblai</i> |
| 2) Subgrade | 2) <i>Sous-couche</i> |
| 3) Binder layer | 3) <i>Couche-support (de liaison)</i> |
| 4) Impervious layer, in two courses | 4) <i>Couche imperméable en deux épaisseurs</i> |
| 5) Seal coat | 5) <i>Couche de fermeture</i> |
| 6) Impervious bituminous concrete | 6) <i>Béton bitumineux imperméable</i> |
| 7) Sidewalk | 7) <i>Trottoir</i> |
| 8) Curb | 8) <i>Bordure</i> |
| 9) Roadway on crest of dam | 9) <i>Route sur la crête du barrage</i> |
| 10) Guard-rail | 10) <i>Garde-corps</i> |

The parapet can be an effective design solution to control the wave action in windy reservoirs and sometimes it is adopted as an economical solution to reduce the required embankment volume. However, it is not without problems, because the parapet wall is a serious obstruction in case of important repair works. Therefore, if parapet structures are adopted, removable precast concrete elements are recommended.

6. MATÉRIAUX

6.1. REMBLAI

L'expérience acquise sur le comportement de masques en béton bitumineux placés sur des barrages en remblai permet de constater que la granulométrie des matériaux utilisés dans les remblais n'a pas l'importance qu'on lui attribuait autrefois. Un enrochement avec une bonne granulométrie, et drainant, est encore préféré pour la recharge amont, mais le compactage est désormais considéré beaucoup plus important, à condition que le zonage et le système de drainage interne soient convenables.

Dans les premiers exemples, les masques en béton bitumineux étaient associés à des barrages en enrochement fondés sur du rocher. Par la suite, ce type de barrière imperméable a été également utilisé avec succès sur des barrages en terre reposant sur une fondation relativement compressible. Le problème de la compatibilité entre le masque en béton bitumineux et le matériau du remblai ne réside pas tant dans la granulométrie des matériaux du remblai que dans la façon dont ce matériau est mis en place et dans la manière dont le masque résistera aux déformations importantes sous la charge d'eau. Les remblais actuellement mis en place et compactés en couches minces, à une teneur en eau voisine de l'optimum, auront un très bon comportement du fait que le remblai dense subit de faibles déformations sous la charge du réservoir. Il en est de même pour les enrochements de bonne granulométrie, actuellement mis en place en couches de 0,6 à 1,0 m d'épaisseur et compactés au moyen de lourds rouleaux vibrants.

Le pourcentage convenable de matériaux devant passer au tamis de 5 mm reste sujet à controverse. Il doit y avoir assez de ce matériau fin pour remplir les vides et réduire l'importance du tassement post construction, qui peut résulter du déplacement de blocs rocheux et de l'écrasement de la roche aux points de contact. D'autre part, la teneur en fines, c'est-à-dire le matériau passant au tamis de 0,06 mm, sera réduite de façon à limiter les pressions interstitielles et la consolidation qui se produit par la suite dans le temps.

Comme il a été mentionné, le compactage revêt une plus grande importance, dans le contrôle du tassement après la construction, que la granulométrie des matériaux. Les **remblais en enrochement** devront être mis en place en couches d'épaisseur de 60 à 100 cm (épaisseur avant compactage) et compactés au moyen de rouleaux vibrants jusqu'à une densité relative d'au moins 75 pour cent. On discute toujours sur l'utilisation d'eau au cours du compactage de l'enrochement, mais tout dépend en réalité de la propreté de l'enrochement. Les **remblais en terre** seront mis en place en couches plus minces, jusqu'à 0,2-0,4 m d'épaisseur (avant compactage), selon le type de matériau. Ensuite, ils seront compactés, à une teneur en eau voisine de l'optimum, de manière que leur densité sèche moyenne atteigne 98 pour cent du maximum obtenu en laboratoire dans les conditions de compactage choisies.

La perméabilité est peut-être le meilleur indicateur du comportement en déformation à court terme de la recharge amont du remblai. La granulométrie du matériau utilisé dans la recharge amont sera contrôlée de sorte que la perméabilité

6. MATERIALS

6.1. EMBANKMENT

As more experience is gained in the performance of bituminous concrete facings on embankment dams, the more it is realized that the grading of the materials to be used in the embankment is not as critical as once thought. Well graded, free draining rockfill is still preferred for the upstream shoulder, but compaction is now considered much more important, provided that the zoning and internal drainage system are adequate.

In early examples, bituminous concrete facings were associated with rockfill dams on rock foundations. Subsequently, however, this type of water barrier has also been successfully used on earth embankments resting on relatively compressible foundation. The issue of the compatibility of the bituminous concrete facing with the embankment material is not so much related to the grain size of the embankment material as it is to how that material is placed and how the facing will resist large deformations when the water load is applied. Modern embankments, placed and compacted in thin layers at near optimum moisture content perform very well because the dense fill experiences minimal deformation under the reservoir load. The same applies to the modern, well graded rockfills placed in layers of 0.6 m to 1.0 m and compacted by heavy vibratory rollers.

The appropriate percentage of material passing the 5mm sieve remains a controversial issue. There must be enough of this finer material to fill the voids and reduce the amount of post construction settlement that can result from crushing the tips and shifting of rocks that are in point-to-point contact. On the other hand, the fines content, i.e. material passing the 0.06mm sieve, should be limited so that pore pressures and subsequent time-dependent consolidation are limited.

As mentioned, compaction is a more important consideration in controlling post construction settlement than is grain-size distribution. **Rockfills** should be placed in courses of 0.6 m to 1.0 m uncompacted thickness, and compacted by vibratory rollers to at least 75 percent relative density. The issue of whether or not to use water during the compaction of rockfills is subject to debate, but actually depends on how "clean" or "dirty" the rockfill is. **Earthfills** should be placed in thinner courses, down to 0.2 to 0.4 m uncompacted thickness, depending on the type of material. It should then be compacted, at near optimum moisture content, to a dry density having an average of 98 percent of the maximum, when compacted in the laboratory at the selected compactive effort.

Permeability is perhaps the best indicator of short term deformation performance of the upstream shoulder of the embankment. Ideally, gradation of the material in the upstream shoulder should be controlled so that the as-compacted

après compactage soit comprise entre 10^4 et 10^6 m/s. En même temps, il faut reconnaître qu'un masque en béton bitumineux bien conçu, à condition qu'il puisse s'adapter aux déformations du barrage, peut avoir un très bon comportement même s'il est placé sur une zone imperméable d'un remblai.

6.2. BITUME

Les bitumes utilisés pour le revêtement des routes sont couramment utilisés pour la réalisation de masques amont de barrages et de revêtements de réservoirs. Ils sont divisés en trois catégories selon le degré de pénétration, le degré de viscosité à l'origine et le degré de viscosité après le mélange à chaud. La pénétration et la viscosité sont deux indicateurs de la consistance du bitume. La pénétration mesure la consistance aux basses températures, tandis que la viscosité mesure la consistance à des températures plus élevées. Le bitume utilisé dans les ouvrages hydrauliques est habituellement identifié par l'indice de pénétration.

L'indice de pénétration permet de classer les bitumes selon leur performance lors d'essais standard de pénétration (ASTM D5 et D946). Il existe cinq indices de référence de pénétration du bitume sur le marché : 40-50, 60-70, 80-100, 120-150 et 200-300. Les trois premiers sont utilisés dans la construction des masques amont de barrages et des revêtements de réservoirs, l'indice 80-100 étant plus fréquemment utilisé.

La dureté, la raideur et la stabilité augmentent au fur et à mesure que l'indice de pénétration baisse, et diminuent lorsque la température s'élève. Le contraire s'applique pour la flexibilité.

La teneur en bitume du mélange, exprimée en pourcentage du poids total du mélange, dépend de la fonction attribuée à la couche et de la granulométrie. Elle dépend également des vides à l'intérieur du mélange de granulats compactés et, par conséquent, du degré de compactage (qui, à son tour, dépend de la raideur du talus) obtenu après passage des finisseurs et des rouleaux. Il dépend aussi du poids volumique des granulats.

La durabilité, la flexibilité, la résistance et la stabilité sur le talus du remblai, aux températures que le masque supportera en cours d'exploitation, sont principalement prises en considération lors du choix du bitume. La question de la stabilité s'applique également au mélange chaud au cours de la construction.

Au cours de ces dernières années, des améliorations ont été réalisées dans le domaine des **bitumes modifiés**. Il s'agit, en particulier, de l'utilisation d'additifs tels que latex, fibres et polymères. Les bitumes modifiés peuvent être adoptés dans des cas très spéciaux pour les revêtements des bassins des stations de transfert d'énergie par pompage, qui sont remplis et vidés parfois même plus d'une fois par jour, d'où des variations de contraintes plus importantes que dans le cas des masques de barrages. Il faut cependant indiquer que le bitume modifié est plus cher.

6.3. GRANULATS

Les granulats rentrant dans la confection des couches constituant un masque en béton bitumineux sont généralement des pierres concassées, du type de celles

permeability is in the range between 10^{-4} and 10^{-6} m/s. At the same time, it should be recognized that a well designed bituminous concrete facing system, provided that the facing can accommodate the deformation of the dam, can perform very well also against an impervious zone of an embankment.

6.2. BITUMEN

Bitumens used in highway paving construction are commonly used for dam facings and reservoir linings. They are graded by three different systems: penetration grades; original viscosity grades; and "after hot mixing" viscosity grades. Both penetration and viscosity are indicators of the consistency of the bitumen. Penetration measures consistency at low temperatures, while viscosity is an indicator of consistency at higher temperatures. The bitumen used in hydraulic structures is normally identified by the penetration grade.

Penetration grading groups bitumens according to their performance in the Standard Penetration Test (ASTM D5 and D946). There are five penetration grades of bitumen on the market: 40-50, 60-70, 80-100, 120-150 and 200-300. The first three are used in the construction of dam facings and reservoir linings, with the 80-100 grade being used most frequently.

Hardness, stiffness and stability increase as the penetration grade decreases, and decrease with a rise in temperature. The opposite is true for flexibility.

The bitumen content in the mix, expressed as a percent of the total mix by weight, depends on the intended function of the layer being designed, and the gradation of the aggregate. It also depends on the voids in the compacted aggregate mix and, therefore, on the degree of compaction (which also depends on the steepness of the facing) provided by finisher screed and rollers and on the specific weight of aggregates.

Durability, flexibility, strength and stability on the slope of the embankment, at the temperatures that the facing will experience in service, are the prime considerations in selecting the grade of the bitumen. The stability consideration also applies to the hot mix, during construction.

In recent years, improvements have been made in the field of **modified bitumens**. These refer especially to the use of additives such as latex, fibres and polymers. Modified bitumens can be used in very special cases for the linings of pumped storage reservoirs which are filled and emptied even more than once per day resulting in greater variations of strains than for a usual dam facing. However, modified bitumen costs more.

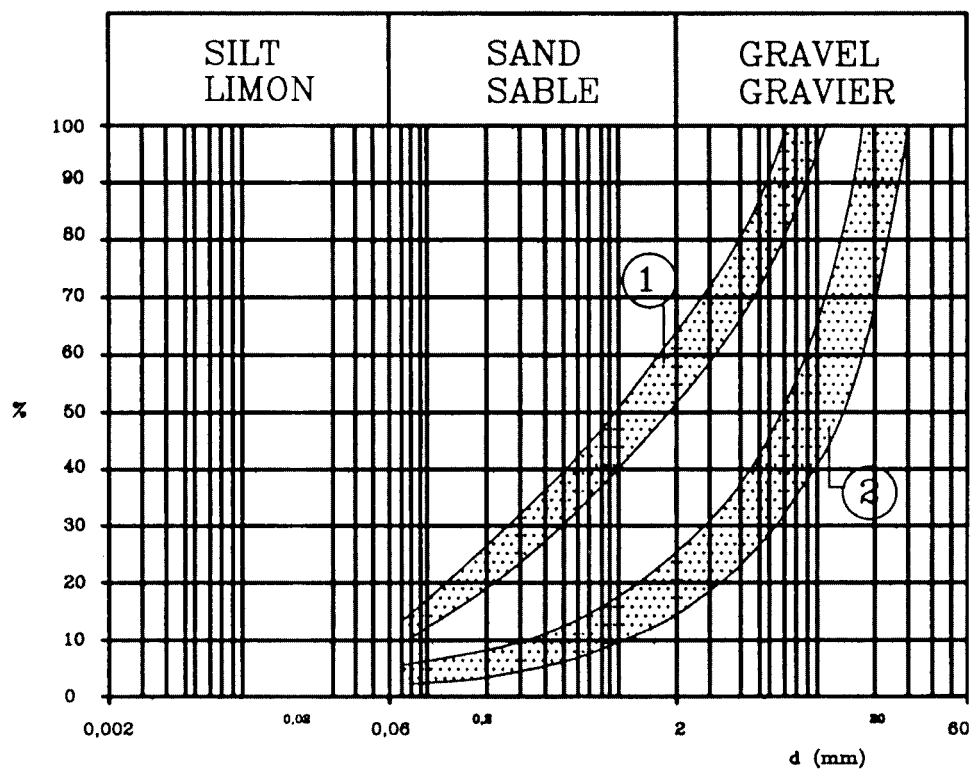
6.3. AGGREGATES

Aggregates used in the mixes that make up the component layers of a bituminous concrete facing are normally crushed stone, of the type suitable for use

utilisées pour un béton de ciment. Généralement, la roche la plus utilisée est le calcaire, mais le granite, le quartzite, le porphyre, la diorite, le gneiss et le basalte ont été également utilisés avec succès. La roche saine de la région est le plus souvent candidate, si elle répond aux conditions de l'ASTM C-33 ou BS 882, et autres normes applicables.

Les caractéristiques importantes d'un granulat sont sa durabilité, son affinité avec le bitume, sa faible porosité, la forme de ses grains et sa granulométrie. La durabilité et la faible porosité semblent aller de pair. Les formes régulières, angulaires (par opposition aux éclats) assurent une structure stable. La granulométrie dépend de la fonction qu'assume la couche. La couche imperméable nécessite un matériau présentant une granulométrie continue, tandis que la couche drainante nécessite un matériau plus uniforme et contenant moins de fines.

Les enveloppes granulométriques généralement utilisées dans des couches imperméables et drainantes sont indiquées sur la Figure 8.



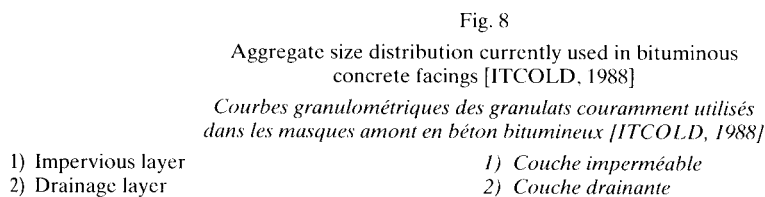
6.4. FILLER

Le filler est utilisé pour faciliter la maniabilité et le compactage du mélange. La maniabilité est importante parce que des mélanges rugueux, ayant une faible teneur en fines, tendent à « se déchirer » lors de leur mise en place. Outre l'amélioration de la maniabilité, des quantités convenables de filler font aussi baisser le volume des

in cement concrete. Limestone is the rock most commonly used, but granite, quartzite, porphyry, diorite, gneiss and basalt have all been used successfully. The sound rock of the region is the most likely candidate, providing that it meets the requirements of ASTM C-33 or BS 882, and other applicable standards.

The important characteristics of the aggregate are its durability, affinity to bitumen, low porosity, particle shape and gradation. Durability and low porosity seem to go together. Regular, angular shapes (as opposed to slivers) promote a stable pack. The gradation depends on the function of the layer. The impervious layer requires a well graded material, while the drainage layer requires a more uniform material with less fines.

The grading envelopes generally used for drainage and impervious layers are shown in Figure 8.



6.4. FILLER

Filler is used to promote the workability and compactability of the mix. Workability is important, because harsh mixes, low in fines content, tend to "tear" when being placed. In addition to improving workability, proper quantities of filler also decrease the volume of voids, and make the mix more dense and impervious.

vides et rendent le mélange plus dense et imperméable. Par contre, des quantités excessives de filler accroîtront notablement la demande en bitume en raison de la surface spécifique accrue. En général, le rapport, en poids, du bitume par rapport au filler est de 1 : 2.

Le filler provient de la poussière de concassage des granulats de roche, à laquelle on ajoute d'autres fines, si nécessaire. Les fines ajoutées ne doivent pas être plastiques.

Le filler de calcaire ou le ciment Portland ont été utilisés comme fines ajoutées. Les fibres d'amiante ont été également utilisées dans le passé. Elles offrent un avantage structural, mais ne sont plus employées en raison des dangers qu'elles présentent pour la santé des ouvriers et du danger potentiel pour la qualité de l'eau. En remplacement de l'amiante, d'autres fibres minérales, de la laine de pierre, des fibres acryliques et des fibres de cellulose font l'objet d'essais et ont déjà été utilisées.

6.5. MÉLANGES BITUMINEUX

Chaque couche du masque consiste en un mélange de bitume, de granulats et de filler, étudié pour répondre aux fonctions que devra remplir cette couche.

1. La *couche imperméable* est caractérisée par un mélange de granulats et de filler, de granulométrie continue, et contenant généralement 6 à 8 pour cent de bitume.

2. La *couche drainante* utilise des granulats de granulométrie ouverte, avec un très faible pourcentage de filler et assez de bitume (généralement de 2 à 5 pour cent) pour qu'il recouvre entièrement toutes les surfaces des granulats.

3. Le mélange de granulats destiné à la *couche-support (de liaison)* peut présenter une granulométrie semi-ouverte à ouverte. La teneur en bitume varie généralement de 4 à 6 pour cent; dans tous les cas, le bitume doit recouvrir complètement les granulats et le filler.

Les pourcentages se réfèrent au poids total du mélange.

Des types particuliers de bitume ou d'émulsion bitumineuse, avec pénétration variant de 100 à 40, sont spécifiés pour le revêtement primaire sur le remblai, l'enduit entre les couches et la couche de fermeture sur la couche imperméable.

La couche de fermeture contient souvent du filler calcaire ou des fibres minérales, mélangés au bitume dans la proportion de 1 : 1. On a utilisé parfois du sable comme additif, représentant 20 pour cent environ du mélange.

La couche imperméable doit être étanche et stable. L'étanchéité dépend de la granulométrie des granulats, du pourcentage de liant bitumineux et du compactage. La stabilité dépend du type de bitume, du pourcentage des vides après compactage et de la granulométrie des granulats.

Une masse volumique du mélange de granulats dans la couche imperméable, variant de 2,1 à 2,5 t/m³, associée à un niveau élevé de compactage, conduit à un mélange qui ne contient pas plus de 3 pour cent environ de vides. La proportion de

On the other hand, excessive quantities of filler will significantly increase the bitumen demand, because of the increased surface area. Typically, the ratio of bitumen to filler by weight is approximately 1:2.

The filler is derived from the dust of the crushed stone aggregate, supplemented by added fines, as needed. The added fines should be non-plastic.

Limestone filler or Portland cement is currently used as the added fines. Asbestos fibres have also been used in the past. They offer a structural advantage, but are no longer used, because of the health hazards to the workmen and the potential harm to the quality of the water. As replacement for asbestos fibres other mineral fibres, stone wool, acryl fibres and cellulose fibres are being tested and have been already used.

6.5. BITUMINOUS CONGLOMERATE MIXES

Each layer of the facing consists of a mixture of bitumen, aggregate and filler, designed to provide the intended function(s) of that layer.

1. The *impervious layer* features a well graded aggregate and filler mix, and generally from 6 to 8 percent bitumen.

2. The *drainage layer* uses an open graded aggregate, with a very small filler content, and enough bitumen (usually 2% to 5%) to thoroughly coat all of the aggregate surfaces.

3. The aggregate mix for the *binder layer* can vary from semi-open graded to open graded. The bitumen content varies accordingly (usually 4% to 6%); the amount must be sufficient to fully coat the aggregate and filler.

The percentages are referred to the total weight of the mix.

Special grades of bitumen or bituminous emulsion, varying in penetration from 100 to 40, are specified for the prime coat on the embankment, the tack coat between layers and the seal coat on the impervious layer.

The seal coat often contains calcareous filler or mineral fibers, mixed on about a 1:1 basis with the bitumen. Sometimes sand has been used as the additive, in which cases the sand content was about 20 percent.

The impervious layer must be water-tight and stable. Water-tightness results from the aggregate gradation, the percentage of bituminous binder, and compaction. Stability depends on the type of bitumen, on the voids after compaction and on the grain size of aggregates.

The density of the aggregate mix in the impervious layer, ranging from 2.1 to 2.5 t/m³, coupled with a high degree of compaction, results in a mix that has not more than about 3 percent voids. The void content of the mix as placed for the

vides du mélange mis en place pour le masque a une grande influence sur la tenue au vieillissement. En réalité, la résistance de la couche imperméable en béton bitumineux au vieillissement dépend en grande partie d'un pourcentage minimal de vides.

Suivant sa fonction, la couche-support (de liaison) doit avoir un pourcentage de vides allant de 7 à 12; le pourcentage de vides de la couche drainante variera de 10 à 30.

Le coefficient de perméabilité de la couche drainante ne sera pas inférieur à 10^{-4} m/s environ.

La couche-support doit avoir une granulométrie appropriée mais ne visant pas à obtenir un mélange dense. Au contraire, elle doit présenter suffisamment de vides pour prévenir la formation de boursouflures entre elle et la couche dense de béton bitumineux la recouvrant; la proportion de vides sera comprise entre 7 et 12 ou 15 pour cent du volume.

D'autres propriétés physiques du mélange bitumineux, telles que la rigidité, la stabilité, la durabilité, la déformation permanente, la résistance à l'arrachement et à la rupture, la maniabilité, etc. sont importantes. Quelques-uns des essais s'y rapportant sont examinés au chapitre 8.

facing has a great influence on the ageing behaviour. As a matter of fact, the resistance to ageing of the impervious bituminous concrete layer to a great deal depends on a low void content.

Depending on the functional design of the binder layer, its porosity varies approximately from 7 to 12 percent; the porosity of the drainage layer varies from 10 to 30 percent.

The coefficient of permeability for the drainage layer should be not less than 10^{-4} m/s.

The binder layer is uniformly graded, but not with the intention to obtain a dense mix. On the contrary, the porosity of the mix should be sufficient to prevent blisters formation between its course and the overlaying dense bituminous concrete course; the void content should preferably lay in the range of 7 to 12 or even 15 % vol.

Other physical properties of the bituminous concrete mix such as stiffness, stability, durability, permanent deformation, resistance to stripping, fracture, workability etc. are important. Some of the relevant tests are discussed in Section 8.

7. MÉTHODES DE CONSTRUCTION

La mise en place d'un masque en béton bitumineux sur un barrage en remblai est un procédé de construction qui comporte le malaxage du mélange pour chaque couche, son transport jusqu'au talus du barrage, sa mise en place sur le talus, son compactage et le traitement des joints et raccordements. Outre des engins classiques de chantier, tels que camions, excavateurs, pelles, etc., un matériel spécial est nécessaire, comprenant :

- une centrale de malaxage (d'enrobage) automatisée;
- des bennes pour le transport du mélange;
- des finisseurs, dumpers et rouleaux (tous équipés pour travailler sur talus);
- des convoyeurs à courroie pour dumpers;
- des treuils pour finisseurs, convoyeurs et rouleaux;
- des treuils auxiliaires;
- des compacteurs.

Au cours de ces dernières années, il y a eu des améliorations progressives, mais pas de changements radicaux, en ce qui concerne la conception des centrales d'enrobage du béton bitumineux et des camions. Il y a eu cependant des améliorations importantes concernant la conception des finisseurs et des rouleaux. Il est aujourd'hui possible de mettre soigneusement en place une couche de béton bitumineux présentant un indice des vides inférieur à 3 pour cent après compactage, ce qui est essentiel pour obtenir une couche imperméable et durable.

L'exécution du revêtement comprend la mise en place, l'épandage, le compactage et le finissage du mélange bitumineux.

Le dosage, le malaxage, le transport, la mise en place et le compactage du béton bitumineux doivent être effectués en une seule suite d'opérations. Dans ce processus, le finisseur est l'engin le plus important dans les opérations. Le choix et le dimensionnement des autres matériels visent à maintenir constante l'efficacité des opérations de finissage. La centrale d'enrobage doit permettre cette efficacité. Pour conserver la chaleur du mélange, le nombre et les dimensions des camions devront être tels qu'un camion chargé n'ait pas à attendre longtemps pour décharger dans la trémie de l'épandeuse.

Dans les projets importants, et conformément aux spécifications, l'approbation de la composition du mélange et des méthodes de mise en place et de compactage sera basée sur des essais in situ. Ces essais seront exécutés en utilisant la centrale d'enrobage de l'entrepreneur ainsi que son matériel de mise en place et de compactage, travaillant sur la pente réelle du talus.

À l'origine, la mise en place était verticale, normale au talus (c'est-à-dire, de haut en bas du talus), en utilisant un matériel tel que celui illustré sur la Figure 9. Au cours de ces dernières années, on a mis au point un matériel permettant d'épandre horizontalement, parallèlement au talus. Le choix de la méthode à adopter dépend généralement de la longueur du talus et de la hauteur du barrage.

7. CONSTRUCTION METHODS

Placement of a bituminous concrete facing on an embankment dam is a construction process that involves batching the mix for each layer, transporting it to the face of the dam, placing it on the slope, compacting it in-place and treating the seams. Besides normal yard machines such as trucks, excavators, shovels, etc., the process requires a fleet of special equipment, including :

- An automated batching plant;
- Containers for mix transportation;
- Finisher, dumpers and rollers (all equipped to work on the slope);
- Conveyors for dumpers;
- Winches for finisher, dumpers and rollers;
- Auxiliary winches;
- Tampers.

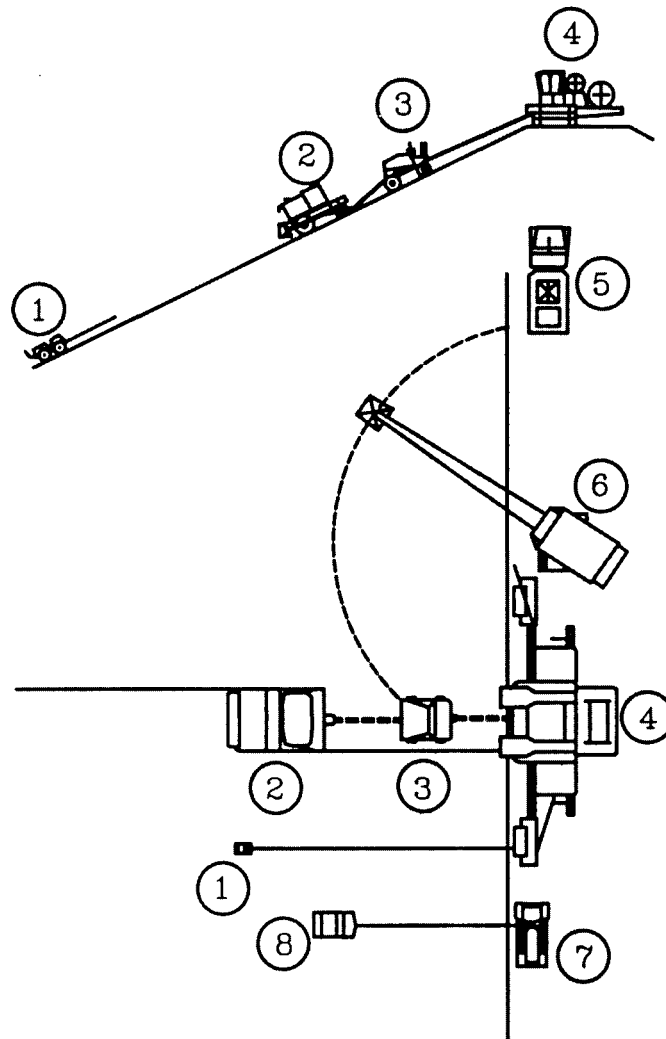
In recent years, there have been gradual improvements but no radical changes in the design of bituminous concrete batching plants and trucks. However, there have been major improvements in the design of finishers and rollers. It is now possible to place accurately and compact a bituminous concrete layer to a porosity lower than 3 percent, which is essential for achieving an impervious and durable layer.

Paving includes the placing, spreading, compacting and finishing of the bituminous mix.

The activities of batching, mixing, transporting, placing and compacting the bituminous concrete should be looked on as a single construction process. In that process, the finisher is the hub of the operation. The objective in selecting and sizing all of the other equipment is to keep the finisher operating constantly at its most efficient rate of production. The batch plant should match that production. In order to conserve the heat of the mix, the number and size of trucks should be selected so that a loaded truck would have to wait a very short time to discharge into the hopper of the laying machine.

On large projects, the approval of the design of the mix and the method of placement and compaction, as to compliance with the requirements of the specifications, should be based on field tests. These tests should use the contractor's batch plant, placing and compacting equipment, working on the design slope.

Originally the laying was vertical, normal to the slope (i.e. up and down the slope), using equipment diagrammatically depicted in Figure 9. In recent years equipment has been developed that lays horizontally, parallel to the slope. The decision of which method to use generally depends on the slope length and height of the dam.



La méthode de mise en place horizontale a été utilisée sur plusieurs ouvrages, spécialement sur des réservoirs, tels que LANGENPROZELTEN, EDOLO, ANAPO, PRESENZANO. Elle convient particulièrement aux longs remblais où la logistique permet de ne pas repositionner le finisseur sur le talus aussi souvent que cela est nécessaire avec les méthodes de mise en place verticale. L'opération de compactage par rouleau, normale à la direction de mise en place, augmente la qualité des joints horizontaux. Des épanduses modernes sur pont, capables de couvrir des largeurs de 25 m, permettent de réduire énormément le nombre de joints horizontaux.

Les références [JUSTO, 1990; WALO BERTSCHINGER AG., 1994] donnent des descriptions plus détaillées sur les matériels modernes et les méthodes de construction utilisés pour les revêtements en béton bitumineux de barrages et de réservoirs.

Fig. 9

Equipment for placing bituminous concrete
Matériel de mise en place du béton bitumineux

- | | |
|---|--|
| 1) Vibratory roller | 1) <i>Rouleau vibrant</i> |
| 2) Finisher | 2) <i>Finisseur</i> |
| 3) Supply cart | 3) <i>Véhicule d'approvisionnement</i> |
| 4) Winch on crawlers | 4) <i>Treuil sur tracteur à chenilles</i> |
| 5) Truck for transport of bituminous mix
(insulated buckets) | 5) <i>Camion de transport du mélange
bitumineux (bennes thermiquement isolées)</i> |
| 6) Hopper with conveyor belt | 6) <i>Trémie avec convoyeur à bande</i> |
| 7) Auxiliary winch on crawlers | 7) <i>Treuil auxiliaire sur tracteur à chenilles</i> |
| 8) Final compaction roller | 8) <i>Rouleau de compactage final</i> |

The horizontal placing method was used in some projects mainly on reservoirs, such as LANGENPROZELTEN, EDOLO, ANAPO, PRESENZANO. It is particularly suitable for long embankments, where the logistics are improved by not having to reposition the finisher on the slope as often as required in the vertical placing method. The rolling normal to the direction of placement improves the quality of the horizontal seams. Modern bridge pavers, capable of paving up to 25 m in width, can greatly reduce the number of horizontal seams.

References [JUSTO, 1990; WALO BERTSCHINGER AG., 1994] are cited for a more in-depth description of the modern machinery and construction methods used for bituminous concrete facings for dams and reservoirs.

7.1. TEMPÉRATURES

Avant le malaxage, la teneur en eau des granulats doit être réduite à moins de 0,5 pour cent, et ils doivent être chauffés. Le bitume également doit être chauffé mais, afin d'éviter un départ trop important de gaz volatils, la température du mélange doit être de 190°C environ.

7.2. MALAXAGE

Les centrales de malaxage (enrobage) servent à sécher, chauffer et malaxer. Le filler et le bitume chaud sont identiques à ceux utilisés dans la construction des routes. La centrale moderne est contrôlée par ordinateur et automatisée; elle fournit des gâchées individuelles ou assure une production continue. On considère généralement que la qualité du produit fourni par la centrale de malaxage continu est plus uniforme.

Les granulats seront stockés et transportés sans provoquer de ségrégation, et seront protégés de toute contamination.

Exception faite de rares implantations en zones urbaines, les installations de stockage des matériaux et d'enrobage se trouvent sur le chantier. Néanmoins, l'installation sur place doit être efficace tant du point de vue opérationnel que du point de vue commercial.

Ces installations doivent être conçues par un expert dans le domaine de la fabrication du béton bitumineux et des matériels utilisés pour le fabriquer.

7.3. TRANSPORT

Après avoir été dosé et malaxé dans la centrale d'enrobage, le mélange est transporté vers un silo thermiquement isolé et chargé sur des camions par gravité. De préférence, le fond du camion comportera une isolation thermique et le chargement sera recouvert d'une bâche. Quand le climat est froid, le mélange est chargé dans des bennes spéciales thermiquement isolées, acheminées au moyen de camions jusqu'à la crête du barrage.

De la crête du barrage, le mélange est transporté au moyen d'une chargeuse ou d'un convoyeur spécial jusqu'à un camion à benne basculante (dumper), puis déversé dans une trémie qui alimente l'épandeuse finisseuse.

7.4. ÉPANDAGE ET FINISSAGE

Avant la mise en place du béton bitumineux, il est nécessaire de préparer la sous-couche du revêtement. Le talus du barrage est compacté et sa surface égalisée, les dénivellations maximales étant, par exemple, de 2 cm sur une longueur de 3 m. Généralement, les matériaux sur le talus d'une recharge perméable présentent une

7.1. TEMPERATURES

Prior to mixing, the aggregates must be dried to at least 0.5 percent moisture content and heated. The bitumen must also be heated, but to prevent driving off too many volatiles, the maximum temperature of the mix should be about 190°C.

7.2. MIXING

Batch plants are used for drying, heating and mixing. Filler and hot bitumen are similar to those used in the road construction industry. The modern plant is computer controlled and automated, and either produces individual batches or a continuous product. It is generally held that the quality of product from the continuous mix plant will be more consistent.

Aggregate should be stored and conveyed in-plant in a manner that will not promote segregation, and that will protect the aggregate from contamination.

Except in rare urban settings it is typical that the materials storage yard and batch plant be at the jobsite. Nonetheless, the jobsite plant must be as efficiently operated as its commercial counterpart.

The yard and plant should be laid out by an expert in the field of manufacturing of bituminous concrete and of the design and manufacture of plant equipment.

7.3. TRANSPORT

After being batched and mixed at the batch plant, the mix is conveyed to an insulated silo and gravity loaded into trucks. Preferably, the truck bed should be insulated, and the load should be covered by tarpaulin. In cold climate, the mix is loaded into special insulated containers and transferred by truck to the crest of the dam.

From the crest of the dam the mix is transferred by loader or by a special conveyor to a dumper, then into a hopper that feeds the finisher.

7.4. SPREADING AND FINISHING

Prior to placing the bituminous concrete, the subgrade must be prepared. The face of the dam is compacted and graded to a maximum variation from true grade, e.g. 2 cm in a 3 m reach. Usually the material at the face of a pervious shoulder is finer than the rockfill, so that it can be adequately smoothed. After compaction and

granulométrie plus fine que celle de l'enrochement et peuvent donc être convenablement aplanis. Après compactage et égalisation, la surface est traitée avec un primer à raison de 2 à 4 kg/m² d'émulsion de bitume cationique, ou de 1 à 2 kg/m² de bitume chaud. Pendant que les couches suivantes sont en préparation, la couche précédente est souvent revêtue d'un enduit à raison de 0,4 à 0,5 kg/m² d'émulsion, suivant le temps écoulé et le degré de poussière déposée.

L'épandage est effectué au moyen d'un finisseur pour travaux routiers, modifié, pouvant se déplacer sur le talus du barrage. Chaque épaisseur a en général une largeur de 2 à 4,5 m; une bande d'une largeur supérieure à 3 m est préférable du point de vue économique. Le finisseur est automatiquement contrôlé en vue d'épandre une couche d'épaisseur uniforme, ou de bien aplanir la surface.

Le finisseur comporte généralement une trémie de réception, à partir de laquelle le mélange est acheminé par un convoyeur à vis vers un distributeur sur chenilles. De là, le mélange est déversé sur la couche précédente, nivelé, avec contrôle par sondes (palpeurs), et aplani à l'aide d'une lame de profilage vibrante et oscillante, chauffée au gaz. Certaines machines sont munies d'une lame vibrante latérale supplémentaire pour façonner et précompacter le bord de la couche pendant l'opération d'épandage. L'épandeuse présente à l'avant une plaque chauffée au gaz ou par infrarouge, qui permet de préchauffer les bords de la bande précédente et d'améliorer la qualité du joint. Avec les méthodes modernes de mise en place de la couche en une seule épaisseur, la pulvérisation d'une substance de collage sur les bords de la bande précédente n'est plus nécessaire. De même, le préchauffage ne sert que dans certains cas bien définis.

Naturellement, le traitement de préchauffage doit être effectué pour parachever les joints après le refroidissement de la bande précédente. L'opération de soudure des joints peut être effectuée par une équipe indépendante après la mise en place de la dernière bande.

Le finisseur moderne est équipé de dispositifs auxiliaires permettant le contrôle automatique de l'épaisseur de la couche. Ces dispositifs sont dotés de palpeurs mécaniques placés de chaque côté du finisseur; ils se déplacent sur la surface de la bande précédente ou de la surface d'application du revêtement et aident à régulariser le mouvement vertical de la lame oscillante de profilage.

L'épandeuse moderne préchauffe la couche précédente, met en place la nouvelle couche, l'aplanit et procède à un premier compactage vibrant. On veille à ce que le recouvrement du joint soit parfaitement exécuté.

Afin d'améliorer la qualité finale, on a mis au point un compacteur finisseur. Celui-ci permet de réduire la teneur en bitume, ce qui augmente la stabilité du béton bitumineux quand le talus est raide.

Le finisseur avance à la vitesse de 1 à 3 m/min. Dans le système de construction verticale, il est manœuvré vers le haut ou le bas du talus à partir d'une plate-forme placée sur la crête du remblai. Dans le système horizontal, le finisseur est remorqué à partir d'une plate-forme qui se déplace également dans le sens horizontal, mais est auto-contrôlé sur le talus.

grading, the surface is usually primed with 2-4 kg/m² of cationic bituminous emulsion or 1-2 kg/m² hot bitumen. In preparing for subsequent layers, the previous layer is sometimes given a 0.4-0.5 kg/m² tack coat of emulsion, depending on the time elapsed and the degree of dust settled before the next layer is placed.

Spreading is currently accomplished by a modified road type finisher, able to work on the slope of the dam. Each course being placed has a width of 2 m to 4.50 m; a lane wider than 3 m is a good solution from an economical point of view. The finisher is automatically controlled to lay down a layer of uniform thickness, or surface grade.

The usual arrangement of the finisher consists of a receiving hopper, from which the mix is screw conveyed to a crawling distributor. From the distributor the mix is deposited on the previous grade, levelled by sensor control by tampers and smoothed by a gas heated, vibrating and floating screed. Some machines have an additional lateral vibrating screed, designed to shape and precompact the edge of the course being placed. There is a gas heated or infrared plate fixed to the front of the spreader, to preheat the surface of the previous edge of the lane and improve the quality of the seam. With modern placing techniques enabling the placing of the layer in a single course, the tack spray to the flanks of the former lane placed during uninterrupted work is not necessary. Also preheating is only necessary in special cases.

Of course preheating treatment must be used to complete seams after the cooling of the former lane. The process of seam welding can be done by a separate crew any time after the placing of the last lane.

The modern finisher is equipped with ancillary features which automatically control the thickness of the layer. These devices normally have mechanical sensors that ride the surface of the previous course or the subgrade, on each side of the finisher box, and then aid in regulating the vertical movement of the floating screed.

The modern laying machine preheats the previous layer, places the layer, strikes it to a plane and makes the initial vibratory compaction pass. Great care is exercised to get good and complete coverage at the seam.

To improve finish quality a high compaction finisher screed has been developed. This screed allows a reduction of the bitumen content; this increases the stability of the bituminous concrete on a steep slope.

The finisher travels at the rate of about 1 to 3 m/min. In the vertical system it is winched up and down the slope from an operating platform on the crest of the embankment. In the horizontal system, the finisher is towed from an operating platform that is also moving in the horizontal direction, but is controlled by itself on the slope.

7.5. COMPACTAGE

Les rouleaux vibrants en acier, d'un poids de 1 à 5 tonnes, sont couramment utilisés pour le compactage des couches. Dès que la viscosité du bitume atteint 100 poises, le compactage n'est plus possible.

Il est recommandé que chacune des couches du masque amont soit mise en place et compactée en une seule épaisseur. Certains ingénieurs préfèrent plusieurs épaisseurs plus minces qui permettent de décaler les joints en plan et de contrôler plus sûrement leur étanchéité. Toutefois, les couches plus épaisses gardent plus longtemps la chaleur et permettent d'effectuer le compactage sur une période plus longue; de plus, elles offrent une plus grande facilité de travail sur les joints. Par contre, dans la méthode à épaisseur unique, un traitement soigné des joints est nécessaire afin d'obtenir une étanchéité satisfaisante.

Le compactage se fait généralement au moyen de deux groupes de rouleaux. Les rouleaux se déplacent suivant la pente du talus, et leur disposition et contrôle dépendent de la méthode de revêtement, horizontale ou verticale. Le premier groupe de rouleaux compacte la couche immédiatement après l'épandage; le deuxième groupe effectue les passages de finition et le compactage du joint.

Le compactage de la zone du joint entre les bandes doit commencer immédiatement après la mise en place de la nouvelle bande, afin d'obtenir un résultat optimal.

L'ensemble des opérations de compactage et le choix du poids des rouleaux doivent être déterminés avec soin sur place en tenant compte des conditions environnementales relatives au vent et à la température, ainsi que de la largeur et de l'épaisseur de la couche à compacter, et de la direction et de la vitesse de progression de l'équipement d'épandage.

La température ambiante minimale acceptable pour la mise en place est de 0° C environ. En Autriche, par exemple, à des altitudes de 2 500 m environ, des masques amont en béton bitumineux ont été mis en place avec succès après avoir éliminé la neige sur la couche support [TSCHERNUTTER, 1988].

Le passage de finition du rouleau vers le bas doit être effectué sans vibreur.

L'utilisation d'eau doit être contrôlée avec grand soin, de même que le moment et la température du début et de la fin du compactage.

À condition que le mélange soit convenable, la réalisation de la couche drainante exige un compactage de même nature que celui de la couche-support.

7.6. TRAITEMENT DES JOINTS

Les joints horizontaux et verticaux du système de réalisation couche-par-couche du masque amont en béton bitumineux apparaissent critiques des points de vue à la fois de la construction et de l'exploitation. Au moment de la construction, le traitement des joints demande beaucoup plus d'attention que les autres opérations de revêtement. Lorsque le barrage est en service, les joints représentent le risque majeur d'infiltration à travers le masque d'étanchéité.

7.5. COMPACTION

Steel vibratory rollers, in the 1 to 5 tonnes range, are currently used to compact the layers. As soon as the viscosity of the bitumen in the mix reaches 100 poises, no further compaction is possible.

It is recommended that each layer of the facing be placed and compacted in a single course thickness. Some Engineers prefer multiple courses so as to be able to stagger the seams in plan, attaining so a better control of the watertightness at the joints. However, the thicker courses hold their heat longer and give a longer time to accomplish compaction; moreover, they permit better workmanship on the seams. On the other hand, in a single course method a careful treatment of the joints in order to obtain satisfactory reliability in watertightness is required.

Compaction is usually accomplished using two sets of rollers. The rollers operate up and down the slope, and their arrangement and control depend on whether the paving operation is horizontal or vertical. The first set concentrates on immediately compacting the layer just spread; the second works on the finishing passes and compaction of the seam.

The compaction of the seam area should commence immediately after the placing of the new lane, to accomplish optimum effect.

The logistics of the compaction process, and the selection of the weight of the rollers, must be carefully directed on site to reflect the wind and temperature of the laying environment, the width and depth of the layer being compacted, and the direction and rate of advance of the spreading equipment.

The lowest acceptable air temperature for placement is about 0°C. For example in Austria, at elevations around 2500 m a.s.l., bituminous concrete facings have been successfully applied after removal of a snow cover on the binder course [TSCHERNUTTER, 1988].

The downwards finishing pass of the roller should be with the vibrator shut off.

The use of water should be controlled very carefully; the same holds for the time and temperature to start and finish compacting.

Provided that the mix design is adequate, construction of the drainage layer calls for a compaction of the same intensity as for the binder layer.

7.6. SEAM TREATMENT

The horizontal and vertical seams of the layer-by-layer system that makes up the bituminous concrete facing are critical from both the standpoints of construction and operation. In construction, the seams demand more attention than any other aspect of the paving routine. In operation, the seams account for most risk of the seepage through the impervious membrane.

Pour améliorer la continuité, on façonne les bords. Le profil du bord d'une couche contre laquelle est mise en place une nouvelle couche sera taillé à 45° environ. Normalement, comme décrit plus haut, la forme du bord est donnée par la lame de profilage du finisseur.

Après avoir été façonné, le bord est préchauffé, si nécessaire, pour permettre une bonne adhérence avec la bande adjacente. Ce préchauffage est effectué par le finisseur, et s'étend sur 20 à 30 cm en retrait du joint. Pendant l'opération de revêtement, la bande fraîche est raccordée à la précédente par soudure bout à bout (à l'angle de 45°). Le compactage du joint est très important.

To improve continuity, the edges are shaped. The profile of the edge of layer against which the new layer is being placed should be trimmed at approximately 45°. Today, the edge is shaped by the finisher screed, as previously described.

After being shaped, the prepared edge, if necessary, could be preheated to bond with the material of the new pass. This preheating is performed by the finisher, and extends from 20 to 30 cm back from the seam. While paving, the fresh layer is connected to the previous by butt seaming (at the 45° angle). Compaction of the seam is very important.

8. CÔNTROLE DE QUALITÉ

L'essai de contrôle de qualité, au cours de la construction, a pour objet de s'assurer que le produit, une fois malaxé et mis en place, est conforme aux prescriptions du marché, traduisant l'objectif de la conception originelle. Les essais de matériaux s'effectuent à la centrale d'enrobage et in situ au moment de l'exécution du masque.

Les essais qui ont lieu à la centrale d'enrobage ont pour but de contrôler la catégorie et la qualité du bitume. On vérifie la granulométrie des granulats et du filler. Des essais sont effectués sur la qualité et la durabilité des granulats. La teneur en eau des granulats au moment du malaxage est contrôlée. Les températures des granulats et du bitume constituant le mélange, le dosage en bitume et le temps de malaxage sont continuellement contrôlés et enregistrés.

Sur le site de la construction, les essais concernent principalement les températures d'épandage et de compactage, l'épaisseur et la granulométrie de la couche, les opérations de compactage, les densités in situ, le pourcentage de vides après compactage, la perméabilité et l'adhérence entre les couches et les épaisseurs. Idéalement, les spécifications de compactage seront basées sur les résultats d'essais et préciseront le poids du rouleau vibrant et le nombre de passes nécessaires pour obtenir la densité et la perméabilité souhaitées. Sur cette base, il est nécessaire de compter les passes de l'engin de compactage et de vérifier les résultats. Généralement, on mesure les densités à partir de carottages et de pesées, et par la méthode nucléo-densitométrique. L'indice des vides peut être calculé à partir de la densité in situ, ou en mesurant la consistance d'un échantillon prélevé. La perméabilité est déduite de l'indice des vides et également mesurée au moyen d'un perméamètre (méthode sous vide) scellé directement sur la surface de la couche. La perméabilité des joints est un problème spécifique et permanent. L'essai de la boîte sous vide (vacuum box test) est également utilisé pour vérifier l'indice des vides.

Un programme d'inspection bien conçu et détaillé est nécessaire pendant les opérations de construction pour s'assurer de la bonne qualité du produit fini. L'inspection concerne principalement :

- la qualité des matériaux utilisés;
- le traitement de ces matériaux dans un mélange de béton bitumineux chaud;
- le transport, la mise en place et le compactage de ce mélange sur le parement amont du barrage.

Les essais sur les matériaux sont un aspect important, à la fois de la conception d'un masque en béton bitumineux sur un remblai ou d'un revêtement d'un réservoir, et du contrôle de qualité de la construction. Les essais portent sur les différents éléments du mélange (bitume, granulats et filler), et au mélange lui-même.

Les essais indiqués au Tableau 1 sont les essais standard proposés par l'Allemagne et les États-Unis. Plusieurs autres pays ont des normes équivalentes.

8. QUALITY CONTROL

Quality control testing during construction is conducted to ensure that the as-mixed and as-placed product conforms to the requirements of the specifications, reflecting the original design intent. Materials are tested at the batch plant and in-situ as the facing is constructed.

At the batch plant, tests are made to document and control the grade and quality of the bitumen. The grain-size distribution of the aggregate and filler is verified. The soundness and durability of the aggregate are tested. The moisture content of the aggregate at the time of mixing is monitored. The temperature of the aggregate and of the bitumen entering the mixture, the bitumen content and the time of mixing are continuously controlled and recorded.

At the site of construction, the concerns are mainly with the laying and compaction temperatures, layer thickness and grade, compaction procedures, in-place densities, percent air-voids after compaction, in-place permeabilities and adhesion between layers and courses. Ideally, the compaction specifications will be based on test results and will specify the weight of the vibrating roller and the number of passes required to achieve the desired density and permeability. On that basis it is necessary to count passes of the compacting equipment, and to verify the results. Densities are usually measured by both coring and weighing, and by the Nuclear Method. Void content can be back-calculated from the in-place density, or by measuring the consistency of a cored sample. Permeability is both inferred from the voids content, and measured in-place using a constant head permeameter (vacuum method) scaled directly on the face of the layer. Permeability of the seams is a special and continuous concern. The vacuum box test is also used to check void contents.

A careful and detailed program of inspection during the construction process is necessary to ensure a good quality finished product. This inspection mainly relates to three different items :

- The quality of the component materials;
- The processing of those materials into a hot bituminous concrete mix;
- The hauling, placing and compaction of that mix on the facing of the dam.

Material testing is an important aspect of both the design of a bituminous concrete facing for an embankment or lining for a reservoir, and the quality control of its construction. The testing relates to the different components of the mix (i.e. bitumen, aggregate and filler), and to the mix itself.

The tests listed in Table 1 are suggested Standards from Germany and the United States. Some other countries have equivalent standards.

8.1. MATÉRIAUX

Le fournisseur de bitume doit certifier que toute livraison de bitume sur le chantier du barrage répond au type et aux propriétés spécifiées dans les documents du contrat. La raffinerie comprend un laboratoire, spécialement équipé pour ce type de contrôle de qualité, et des chimistes et des techniciens expérimentés; elle peut donc contrôler efficacement la qualité du bitume.

Les ouvrages réalisés loin de zones urbaines nécessitent une implantation, sur le chantier, des installations de stockage et de malaxage. Dans ce cas, le personnel résident aura soin de vérifier que le stockage du bitume sur place présente un volume convenable, une isolation thermique et une protection vis-à-vis de la contamination.

Les granulats nécessitent un contrôle à leur lieu d'origine, là où ils sont extraits, concassés, criblés et lavés si nécessaire. Le matériau peut provenir de l'extérieur à la suite d'une commande, ou du site même à la suite de l'excavation d'une carrière prévue par le projet. La plupart des carrières présentent des filons de roche de qualité différente. Certaines ne répondent pas à la qualité requise. L'inspection et les essais doivent être continus de façon à exclure du chantier les matériaux non conformes. Un bon contrôle de qualité de la roche doit s'appuyer sur les résultats d'essais enregistrés au laboratoire de chantier ou autre laboratoire fiable situé à proximité.

De plus, l'inspecteur doit vérifier que la forme des particules du matériau concassé répond aux spécifications et que le filler n'est pas plastique. À la centrale d'enrobage située sur le chantier, comme cela est le plus courant, ou à un endroit de fabrication du commerce situé à proximité, l'inspecteur doit vérifier qu'il ne se produit pas de ségrégation dans les différents stocks de granulats et que ceux-ci sont protégés de toute contamination.

8.2. MALAXAGE

L'inspecteur s'assurera et notera que les conditions de malaxage requises sont constamment remplies. Les granulats doivent être séchés et leur teneur en eau ne doit pas dépasser 0,5 pour cent. Le mélange de granulats en provenance de différents stocks doit présenter la granulométrie spécifiée pour chaque couche. Le bitume et les granulats seront chauffés chacun à une température convenable et mélangés pendant la durée prescrite. Quand le produit est chargé sur les camions, à chaque chargement doit correspondre une fiche d'identification du type de mélange, de son poids brut et de sa température. Le chargement sera protégé par une bâche permettant de conserver la chaleur pendant son transport jusqu'au chantier.

8.1. MATERIALS

The bitumen manufacturer should certify that each shipment of bitumen to the jobsite conforms to the grade and properties specified in the contract documents. The refinery has a complete laboratory, especially equipped for this type of quality control, and has experienced chemists and technicians to operate the facility. For this reason, the refinery can efficiently monitor the quality of the bitumen.

Projects which are remote from the urban setting will normally have a storage yard and batch plant on site. In that case, the Resident staff will verify that adequate volume, thermal insulation and protection against contamination are provided for the storage of the bitumen on site.

The aggregate requires inspection at the source, where it is quarried, crushed, screened and washed if necessary. That source can be an offsite, commercial operation; or onsite, either as part of required project excavation, or a designated project quarry. Most quarries have veins of varying quality. Some of these do not meet the required quality. Inspection and testing must be continuous so that non-conforming material is excluded from the jobsite. Satisfactory inspection should be documented by the results of the rock quality testing at the project laboratory, or a nearby reliable commercial laboratory.

In addition, the inspector must check that the shape of the grains of crushed material meets specifications and that the filler is non-plastic. At the batch plant, whether at the project site, as it is typical, or at a nearby commercial site, the inspector should verify that segregation of the various aggregate stockpiles is not occurring, and that they are protected from contamination.

8.2. BATCHING

The inspector should verify and record that the requirement related to the batching process are consistently met. The aggregate must be dried to less than 0.5% moisture content. The aggregate mix, blended from the various stockpiles, must meet the grain-size distribution specified for each layer. The bitumen and aggregate must be heated to the proper temperature and thoroughly mixed for the specified time. When the product is loaded into the trucks, each load should be issued a weight strip that identifies the type of mix, its gross weight and its temperature. The load should then be covered by a tarpaulin, to hold the heat, and transported to the work-site.

Tableau 1
Méthodes d'essais

QT = Essai de qualification CSC = Contrôle sur le site par l'entrepreneur ECT = Essais de contrôle par le maître d'œuvre	Spécifications		Mastic sable-bitume			Béton bitumineux imperméable			Béton bitumineux perméable		
	DIN	ASTM	QT	CSC	ECT	QT	CSC	ECT	QT	CSC	ECT
GRANULATS											
propriétés											
essais											
contrôle de qualité			1			1			1		
type et origine			1			1			1		
contrôle visuel de l'aspect			1	1		1	1		1	1	
granulométrie à la livraison			1	2		1	2		1	2	
propriétés simples			3	3		3	3				
BITUME											
catégorie			1	2		1	2		1	2	
propriétés (0)	52 000/52 050	D-2042 D-70 D-6	3	3	3	3	3	3	3	3	3
MELANGES BITUMINEUX											
granulométrie des fractions											
de granulats	1996 part 14		1			1			1		
granulométrie du mélange											
de granulats	1996 part 14		1	1	1	1	1	1	1	1	1
teneur en bitume	1996 part 6	D-4125	1	1	1	1	1	1	1	1	1
extraction du bitume*	52 000/52 050	D-2172		3	3		2	1		2	1
poids volumique du mélange	1996 part 7	D-1188	2		2	1	1	1			
masse volumique du mélange											
compacté	1996 part 7	D-1561	2		2	1	1	1	1		2
absorption d'eau sous vide **	1996 part 8					1	1	1			
pourcentage théorique de vides	1996 part 7	D-3203				1	1	1	1		2
essai de désenrobage ***	1996 part 10	D-1664									
essai de gonflement											
en présence d'eau	1996 part 9					3	3		3	3	
épaisseur de l'échantillon							1	1		1	1
stabilité sur talus		---	3			1			3		
perméabilité de la couche étanche							3	3			
perméabilité de la couche perméable		D-3637							1		3
facilité de compactage						1	2	2			
flexibilité		---				3					
viscosité des mélanges injectés			3		3						

(0) point de ramollissement et ductilité

* cependant, la détermination du point de ramollissement par bille et anneau, et de pénétration par aiguille, est suffisante: échantillon de mélange pris sur place

** calcul du pourcentage de vides ou de l'absorption d'eau sous vide

*** seulement pour bitumes de pénétration ≥ 160 dmm

Evaluation : 1 : nécessaire 2 : seulement informatif 3 : seulement dans des cas spécifiques

Table 1
Test methods

QT = Qualification Test CSC = Contractor's Site Control ECT = Engineer's Control Test	Specifications		Bituminous sand mastic			Impervious bituminous concrete			Pervious bituminous concrete		
	DIN	ASTM	QT	CSC	ECT	QT	CSC	ECT	QT	CSC	ECT
AGGREGATES											
properties testing											
quality control			1			1			1		
kind and source			1			1			1		
visual check of appearance			1	1		1	1		1	1	
grading as delivered			1	2		1	2		1	2	
single properties			3	3		3	3				
BITUMEN											
grade			1	2		1	2		1	2	
properties (0)	52 000/52 050	D-2042 D-70 D-6	3	3	3	3	3	3	3	3	3
BITUMINOUS MIXES											
grading of aggregate fractions	1996 part 14		1			1			1		
grading of aggregate mix	1996 part 14		1	1	1	1	1	1	1	1	1
bitumen content	1996 part 6	D-4125	1	1	1	1	1	1	1	1	1
extraction of bitumen*	52 000/52 050	D-2172		3	3		2	1		2	1
specific gravity mix	1996 part 7	D-1188	2		2	1	1	1			
mass density of compacted mix	1996 part 7	D-1561	2		2	1	1	1	1		2
water absorption under vacuum**	1996 part 8					1	1	1			
theoretical void content	1996 part 7	D-3203				1	1	1	1		2
stripping test***	1996 part 10	D-1664									
swelling test	1996 part 9					3	3		3	3	
thickness of specimen						1	1	1	3	1	1
stability on slopes		---	3								
permeability of impervious layer							3	3			
permeability of pervious layer		D-3637							1		3
compactability						1	2	2			
flexibility		---				3					
viscosity of grouting mixes			3		3						

(0) softening point and ductility

* however, in the general determination of softening point ring and ball and needle penetration are sufficient; mix specimen are taken on site

** either calculated void content or water absorption under vacuum

*** only for bitumen with penetration grade ≥ 160 dmm

Evaluation: 1: necessary 2: information only 3: only in special cases

8.3. MISE EN PLACE

Sur un chantier important, les méthodes de construction de l'entrepreneur sont généralement vérifiées au moyen d'une digue d'essai. Une fois que ces méthodes ont été déterminées, l'inspecteur vérifie qu'elles sont bien suivies pendant l'exécution des travaux et qu'on obtient constamment un produit acceptable.

La première tâche est d'approuver la préparation de la sous-couche du revêtement. Quand celle-ci est le talus du remblai, l'inspection nécessite de vérifier que la granulométrie des matériaux est dans les limites des tolérances prescrites, que cette sous-couche est compactée pour obtenir les densités spécifiées et que, lorsque cela est prescrit, elle est convenablement recouverte d'un primer d'émulsion bitumineuse ou de bitume chaud afin de réaliser une bonne adhérence entre la couche de liaison et le remblai. Lorsque la surface d'application du revêtement est la surface d'une couche de béton bitumineux préalablement réalisée, l'inspection consiste aussi à vérifier que la surface n'est pas contaminée par la poussière ou l'humidité.

Lorsque le chargement d'un camion est mis en place, l'inspecteur doit contrôler que le matériel d'épandage est en bon état de fonctionnement. Connaissant le poids de la gâchée chargée sur le camion, l'inspecteur vérifiera qu'il correspond à la longueur d'épandage pour l'épaisseur non compactée déterminée. L'inspecteur doit également mesurer et enregistrer la température du mélange dans la trémie du finisseur.

On obtient de meilleures mesures de densité in situ en utilisant des nucléodensitomètres.

Des essais de perméabilité in situ sont effectués à des intervalles réguliers, avec une attention particulière portée aux joints.

Pendant la mise en œuvre d'épaisseurs multiples de couches imperméables, on doit contrôler la présence d'humidité sur les surfaces à revêtir afin d'empêcher la formation de cloques. La quantité d'humidité peut être mesurée avec un appareil à infrarouges.

8.3. DURING PLACEMENT

On a large job, the Contractor's construction procedures using on-site equipment, are usually verified by a test fill. When those detailed procedures have been established, the inspector should verify that they are followed during actual construction, and document that the established procedures continue to produce an acceptable product.

The first task is to approve the subgrade preparation. When the subgrade is the face of the embankment, this inspection involves verification that the subgrade is graded within specified tolerances; that it is compacted to specified densities; and that, when so specified, it is properly primed with bituminous emulsion or hot bitumen to provide bond between the binder layer and the embankment. When the subgrade is the surface of a previously completed layer of bituminous concrete, the inspection also verifies that the surface is not contaminated by dirt or moisture.

When a truckload of mix is placed, the inspector must check that the laying equipment is in good working order. Knowing the weight of the trucked batch the inspector should verify that the length of travel required to spread the load to its proper uncompacted thickness is reasonable. The inspector should also measure and record the temperature of the mix in the finisher hopper.

In-place densities are best measured using the nuclear device.

In-place permeability tests are carried out at regular intervals, with particular attention being paid to the seams.

During placement of multiple course of impervious layers the presence of moisture on the surfaces to be paved should be controlled in order to prevent the formation of blisters. The quantity of moisture can be measured with an infrared moisture meter.

9. COMPORTEMENT

9.1. COMPORTEMENT GÉNÉRAL

La littérature est riche de rapports sur le comportement de barrages en remblai avec masque amont en béton bitumineux. C'est vrai en particulier pour les constructions les plus récentes, mieux équipées en appareils de mesure.

Généralement, le dispositif de mesure directement associé au masque contrôle la déformation de la pente et l'infiltration (PAPPADAI, ROADFORD et MARCHLYN). Le dispositif d'auscultation concernant indirectement le comportement du masque mesure les mouvements de la crête et l'action des forts tremblements de terre [CHARLES & PENMAN, 1988; DAICHO, 1988; HASEGAWA & KIKUSAWA, 1988; MARANHIA DAS NEVES, 1990; PENMAN & HUSSAIN, 1984; SCHENK, 1988].

On n'a jamais signalé de cas où un mauvais fonctionnement du masque avait été la cause principale de rupture d'un barrage.

PRIMS, barrage en enrochement de schiste ardoisier, constitue un exemple de remblai qui a subi des déformations relativement importantes à la suite du desserrage des blocs, mais dont le masque a très bien résisté, l'infiltration étant inférieure à 0,1 l/s après sept ans de services [SCHENK, 1988]. TATARAGI, fondé sur du sable et des graviers alluvionnaires, présente un bon comportement après 14 ans de service. D'autres comportements satisfaisants sont cités pour des ouvrages dont les fondations sont compressibles [CLAPS, 1976; CROCE & DOLCETTA, 1970].

Bien que de nombreux barrages avec masque amont en béton bitumineux aient de bons comportements et qu'on n'ait pas enregistré d'incidents, il y a un certain nombre de dégâts survenus à des masques, ce qui fournit des enseignements pour l'amélioration des projets futurs. Ces dégâts peuvent être classés en deux groupes : ceux qui ont lieu lors du premier remplissage du réservoir et qui se rapportent à une déformation excessive, et ceux qui se développent par la suite au cours de la période d'exploitation de la structure et sont souvent dus au vieillissement.

9.2. DÉGÂTS LORS DU PREMIER REMPLISSAGE

L'une des périodes les plus critiques de la vie d'un masque est celle du premier remplissage. Sous la charge d'eau, le masque se déforme avec le remblai, et peut subir une contrainte excessive et se fissurer. Les causes principales de déformation excessive sont le tassement du remblai et l'affaissement de la fondation. La première cause est la plus fréquente, mais avec les techniques modernes de construction des remblais en couches compactées relativement minces (20 cm environ pour la terre, et de 70 à 100 cm pour l'enrochement), on élimine généralement le problème.

9. PERFORMANCE

9.1. GENERAL BEHAVIOUR

The literature is rich with performance reports on embankment dams having bituminous concrete facings. This is especially true of the more recent construction which tends to feature more instrumentation than the earlier dams.

Typically, the instrumentation directly related to the facing monitors slope deformation and seepage, (PAPPADAI, ROADFORD and MARCHLYN). The instrumentation which is indirectly related to the performance of the facing measures crest movement and strong earthquake motions [CHARLES & PENMAN, 1988; DAICHO, 1988; HASEGAWA & KIKUSAWA, 1988; MARANHIA DAS NEVES, 1990; PENMAN & HUSSAIN, 1984; SCHENK, 1988].

Case histories where a malfunction of the facing was the primary cause of a dam failure have not been reported in the literature.

PRIMS, a slate rockfill dam, is an example where the embankment experienced rather large deformations due to slaking, and yet the facing behaved fairly well, seeping less than 0.1 l/s after seven years of service [SCHENK, 1988]. TATARAGI, founded on sand and gravel alluvium, showed good performance after 14 years of service. Other successful performances on compressible foundation are cited in [CLAPS, 1976; CROCE & DOLCETTA, 1970].

Although there are many dams with bituminous concrete facings that have performed well and without incidents, there are a number of reported failures of the facing that provide lessons for improving future designs. These failures can be broadly categorized into two groups: those that occur at the first filling of the reservoir, and usually relate to excessive deformation; and those that develop later during the service life of the structure, often due to ageing.

9.2. FAILURES AT THE FIRST FILLING

One of the most critical periods of the life of the facing is when the reservoir is filled for the first time. Under the water load, the facing deforms along with the embankment, and can become overstressed and rupture if that deformation is excessive. The main causes of excessive deformation are settlement of the fill, and yielding of the foundation. The former is prevalent, but when using modern construction techniques of placing the embankment in relatively thin, compacted courses (about 20 cm for soil, and 70 to 100 cm for rock), the problem is usually avoided.

Les endroits critiques se situent au raccordement du masque au socle ou à d'autres ouvrages annexes. Au barrage d'EL SIBERIO [ALONSO FRANCO & SORIANO PEÑA, 1988], le problème du raccordement du masque flexible avec le socle rigide s'est ultérieurement compliqué en raison de la rotation du socle lui-même.

Pour empêcher la rotation du socle, il est préférable de concevoir le profil en travers de ce socle avec un faible rapport entre la hauteur et la base, et/ou d'enclaver le socle dans une tranchée, en faisant attention de ne pas endommager le rocher de fondation.

La fissure de traction, promptement réparée, de 50 m de longueur, qui s'est produite au barrage CASTELLO [ITCOLD, 1988; HAUG et al., 1988; JAPPELLI & FEDERICO, 1993] lors du premier remplissage, est un exemple caractéristique de la rupture du masque au raccordement avec le socle. Dans ce cas, le masque du Type A (bicouche) se comporta plutôt bien comme détecteur des infiltrations d'eau pénétrant dans la galerie à travers le drain divisé verticalement en sections.

9.3. DÉFAUTS EN SERVICE

En raison de la nature visco-élastique du béton bitumineux, certaines ruptures locales et certains défauts signalés dans des masques n'ont pas été observés tout au début; ils se sont développés lentement sur une longue période de temps. Une auscultation périodique est vitale pour détecter les anomalies.

9.3.1. Problèmes structuraux

Des problèmes structuraux peuvent se traduire par une rupture, des fissures de traction et des déchirures de la couche imperméable ou du masque tout entier. Ils peuvent causer de sérieuses infiltrations susceptibles de menacer la sécurité du barrage. Ces problèmes sont souvent liés à des discontinuités au raccordement entre le remblai ou autres ouvrages annexes (socle, évacuateur de crue, crête, etc.) et le masque, et à des tassements différentiels.

Comme indiqué précédemment, à EL SIBERIO [ALONSO FRANCO & SORIANO PEÑA, 1988] le socle n'était pas convenablement ancré à la fondation; il a subi une rotation en cours d'exploitation, ce qui a fini par provoquer la rupture du masque. MULUNGUSHI [LEGGE, 1970] fut affecté par suite d'un tassement excessif de l'enrochement de mauvaise qualité. À SHIBIANYU, barrage en remblai par sautage contrôlé, se sont produits des déchirements verticaux au droit de fortes irrégularités sur les pentes raides des appuis. À SCOTTS PEAK [FITZPATRICK, 1976], une fissure s'est développée au contact de deux zones du remblai : une zone inférieure en gravier, et une zone supérieure en argilite.

Un bon compactage du remblai, en particulier à la jonction avec des structures adjacentes, une mise en forme convenable des appuis, un bon ancrage des structures de jonction dans la fondation, et des raccordements bien étudiés du masque avec les structures adjacentes sont les conditions importantes à prévoir dans la conception et dans la construction pour éviter des problèmes de structure.

Les défauts structuraux observés en cours de service comprennent des cloques, fissures, affaissements et boursoufflures. Ils se rapportent généralement au

The critical locations are at the connection of the facing to the plinth, or other fixed boundary elements. At EL SIBERIO [ALONSO FRANCO & SORIANO PEÑA, 1988], the problem of connecting the flexible facing to the rigid plinth was further complicated by rotation of the plinth itself.

In order to prevent rotation, it is preferable to design the plinth cross-section with a small ratio between height and base and/or to key the plinth in a trench, taking care not to damage the rock.

The promptly repaired 50 m long tension crack experienced at CASTELLO [ITCOLD, 1988; HAUG et al., 1988; JAPPELLI & FEDERICO, 1993] at the first filling is a typical example of failure of the facing at the connection with the plinth. In that case the Type A facing performed fairly well as leakage detector of the water seeping into the gallery through the vertically sectioned drain.

9.3. DEFECTS DURING SERVICE

Because of the visco-elastic nature of bituminous concrete, some of the reported localized failures and defects in the facing system were not immediately noticed, having developed slowly over an extended time period. Periodical monitoring is vital for detecting anomalies.

9.3.1. Structural Problems

Structural problems can result in rupture, tension cracks and tearing of the impervious layer or the entire facing structure. This can cause a serious leakage that can threaten the safety of the dam. These problems are frequently related to discontinuities at the interface of the embankment or boundary elements (plinth, spillway, crest etc.) and the facing, and to differential settlements.

As previously noted, at EL SIBERIO [ALONSO FRANCO & SORIANO PEÑA, 1988] the plinth was inadequately anchored to the foundation. It rotated in service and eventually ruptured the facing. MULUNGUSHI [LEGGE, 1970] was distressed due to excessive settlement of the poor quality dumped rockfill. SHIBIANYU, a blastfill type dam, experienced vertical tearing at abrupt irregularities in the steep abutment slopes. SCOTTS PEAK [FITZPATRICK, 1976] developed a crack at the contact between two embankment zones: a lower gravel zone and an upper argillite zone.

Good compaction of the embankment, especially adjacent to boundary elements, proper shaping of the abutments, adequate anchoring of boundary elements into the foundation, and good detailing of the connections of the facing to the boundary elements are the important design and construction activities required to avoid structural difficulties.

The structural defects during service include blisters, cracking, slump and bulges. These generally relate to the performance of the impervious layer, and have

comportement de la couche imperméable et sont généralement associés à l'opération de mise en place de la couche imperméable en plusieurs épaisseurs.

Une liaison imparfaite entre les épaisseurs est invariablement source de problèmes. Ainsi, le refroidissement d'une mince épaisseur peut être si rapide qu'il empêche un compactage convenable au rouleau.

On a signalé, dans certains cas, des cloques causées par l'eau emprisonnée entre les épaisseurs d'une couche imperméable ou dans une même couche imperméable. La formation de vapeur et la réduction de la viscosité du mélange peuvent provoquer des boursoufflures de la couche.

Des fissures locales non associées à une déformation à grande échelle peuvent résulter de contraintes de traction causées par des cloques ou des boursoufflures, par un impact physique, ou par le vieillissement.

L'affaissement ou le glissement entre diverses épaisseurs peut être provoqué par l'eau, la poussière, l'huile ou autre élément contaminant à l'interface. Parfois, c'est le matériel d'exécution du revêtement qui en est responsable. Un matériel moderne effectue le compactage primaire lors de l'épandage du mélange. Il s'agit d'une opération importante car, si le compactage n'est pas convenable, l'épaisseur obtenue est moins dense et plus perméable, et souvent est faiblement liée à l'épaisseur précédente.

Les phénomènes de séparation sont dus principalement à une insuffisance de mortier à la surface de la couche sous-jacente. Le film de mortier, lorsqu'il est réchauffé par l'épaisseur supérieure, remplit les vides inévitables du dessous de cette épaisseur, d'où il résulte une bonne adhérence entre les deux épaisseurs. Une quantité suffisante de mortier est fournie par un mélange ayant des proportions appropriées de filler, sable fin et bitume, et par un bon précompactage au moyen de finisseurs modernes.

Une couche de liaison irrégulière peut causer des contraintes thermiques entraînant des déchirures.

TSCHERNUTTER (1988) signale des stries, ou des cannelures, dues au frottement de la glace à de hautes altitudes.

La conception d'éléments mixtes (par exemple béton de ciment Portland en sandwich avec du béton bitumineux) a souvent provoqué des difficultés, étant donné les réponses thermique et mécanique différentes des deux matériaux. Réf. : EL GHRIB, BOU HANIFIA, KRUTH WILDENSTEIN, RADOINA, S. MARIA AL LAGO [THEVENIN, 1961; JUSTO 1990; CFGB, 1979; VERCON & MARKOVIC, 1961; CARUSO & PANCINI, 1957].

9.3.2. Problèmes relatifs au bitume

Les problèmes associés au bitume concernent essentiellement le désenrobage et l'instabilité sur la pente.

Un mauvais mélange peut résulter de l'eau qui sépare le bitume des granulats (désenrobage). Ce manque d'adhérence convenable peut être imputé à la paraffine contenue dans le bitume, ou à une teneur en bitume trop faible, ou à des granulats qui n'ont pas été suffisamment séchés au moment de l'opération de malaxage, ou

usually been restricted to construction that involves placing the impervious layer in more than one course.

Imperfect bond between courses is invariably a source of problems. Also, a thin course can cool so rapidly that it prevents adequate roller compaction.

Blisters have been reported in some cases, caused by water being trapped between the impervious layers or in an impervious layer itself. Vapour formation and mix viscosity reduction cause the layer to bulge.

Localized cracking not related to large scale deformation can be the result of tension stresses caused by blisters or bulges, by physical impact, or by ageing.

Slump or slipping between courses can result from water, dust, oil or other bond-breaking type of contaminant at the interface. Sometimes the paving equipment is at fault. The modern equipment accomplishes the primary compaction as the mix is being laid. This can be important, because if there is inadequate compaction, the result is a less dense and more pervious course, and often poor bond with the previous course.

Separation phenomena are mainly due to the lack of enough mortar on the surface of the lower course. This mortar film, when reheated by the upper course, fills the inevitable voids on the underside of the upper course, resulting in good adhesion between the two courses. Enough mortar film is provided by an adequate filler, fine sand and bitumen ratio in the mix and good precompaction by modern finisher screeds.

An irregular binder layer can cause temperature stresses that result in tearing.

In [TSCHERNUTTER, 1988] striations, or gouges, due to ice chafing at high altitudes are reported.

Projects featuring composite construction (i.e. Portland cement concrete sandwiched with bituminous concrete) have often experienced difficulties as a result of the differential in thermal and mechanical response of the two materials. Ref. EL GHRIB, BOU HANIFIA, KRUTH WILDENSTEIN, RADOINA, S. MARIA AL LAGO [THEVENIN, 1961; JUSTO 1990; CFGB, 1979; VERCON & MARKOVIC, 1961; CARUSO & PANCINI, 1957].

9.3.2. Problems Related to the Bitumen

The problems associated with bitumen are essentially stripping and instability on the slope.

A failure of the mix can be attributed to water stripping the bitumen from the aggregate. This lack of proper bonding can be related to the paraffin content of the bitumen or to a too low bitumen content or to an aggregate not being sufficiently dry at the time of mixing, or even to the presence of some type of natural or

encore à la présence de certaines substances naturelles ou artificielles recouvrant les granulats et empêchant leur adhérence. Les mauvais mélanges sont évités lorsqu'on porte attention aux spécifications relatives aux matériaux et aux opérations de malaxage.

L'instabilité sur le talus peut résulter du fluage causé par une teneur en bitume trop élevée. La teneur en bitume appropriée dépend de la superficie des granulats. La quantité de bitume doit être seulement suffisante pour recouvrir entièrement toutes les particules des granulats et du filler.

Dans un mélange bitumineux, la déformation à la rupture augmente avec la température et décroît quand le taux de déformation augmente. Des changements radicaux de température entre le jour et la nuit entraîneront des inversions de déformation qui provoqueront des fissures de fatigue sur une paroi exposée. Pour y remédier, il faut utiliser un mélange plus souple, ou même appliquer un matériau d'isolation.

9.3.3. Vieillessement

Dans le processus de vieillissement, les maltènes du bitume (huiles et résines) s'évaporent, laissant les asphaltènes comme résidus. Les asphaltènes sont les éléments chimiques du bitume les plus lourds, les plus durs et les plus cassants. Le processus est principalement le résultat d'un surchauffage du bitume pendant la fabrication et/ou le stockage du mélange. Il peut également être causé par les températures ambiantes élevées et l'exposition aux rayons ultra-violet du soleil. En général, les effets de vieillissement causés par les agents atmosphériques sont seulement superficiels et la surface peut être restaurée.

Un revêtement de fermeture doit être prévu sur toutes les surfaces qui ne sont pas submergées en permanence, afin de les préserver des effets de vieillissement par les rayons ultra-violet. Bien entendu, cette protection doit être renouvelée périodiquement. Certains auteurs [TSCHERNUTTER, 1988] signalent que, dans les conditions de climat alpin, les revêtements de fermeture durent peu d'années. Les peintures réfléchissantes s'écailleront si elles ne présentent pas d'affinité naturelle avec le bitume. En 1995, le masque amont du barrage de Stc-CÉCILE D'ANDORGE a été restauré au moyen de l'application d'une couche imperméable, de 6 cm d'épaisseur, d'un béton bitumineux légèrement coloré [HERMENT & JENSEN, 1996].

Le maître d'ouvrage d'un barrage comportant une barrière étanche formée par un masque amont en béton bitumineux ne doit pas ignorer que, de temps à autre, il sera nécessaire de prévoir des frais d'entretien pour ce masque, comme d'ailleurs pour d'autres parties du barrage. Ces frais dépendront du climat local, de l'exploitation du réservoir (par exemple, nombre et importance des variations du niveau du réservoir) et de l'exposition à la lumière directe du soleil. Les dépenses se rapportent généralement à l'entretien et à la réhabilitation, ou restauration, du revêtement de fermeture.

Le revêtement de fermeture est prévu pour protéger les couches sous-jacentes contre les agents causant le vieillissement. Quand la conception a été bien établie, les couches sous-jacentes peuvent avoir une très longue durée de vie. Par conséquent, à condition que tous les autres facteurs soient normaux, le maintien d'un revêtement en bon état et pour une longue vie ne réclame que vigilance et soins appropriés.

artificial bond-breaker coating the aggregate. Attention to material specifications and batching operations should preclude mix failures.

Instability on the slope can result from creep caused by a too high bitumen content. The appropriate bitumen content depends on the surface area of the aggregate. There should only be enough bitumen to fully coat all of the particles of aggregate and filler.

In a bituminous mix, the strain at failure increases with temperature and decreases with an increase in the rate of deformation. Radical changes in temperature from day to night will generate strain reversals that can result in fatigue cracks on an exposed face. A remedial measure can be a softer mix or even the application of an insulating material.

9.3.3. Ageing

The ageing process involves the evaporation of the maltenes (oils and resins) in the bitumen, leaving the asphaltenes as residual. The asphaltenes are the heaviest, hardest and most brittle of the chemical components of bitumen. The process is mainly a result of an overheating of the bitumen during the manufacture and/or storage of the mix. It can also be driven by high temperature and exposure to the ultra violet rays of the sun. Generally, ageing effects caused by environmental exposure are only “ skin deep ” and the surface can be restored.

A seal-coat should be provided for surfaces that are not permanently under water, to fend off the ageing effects of ultra violet radiation. It should be understood that this protection must be replaced periodically. There are reports [TSCHERNUTTER, 1988] that in the Alpine climate the sealing coats have only lasted a few years. Reflective paints will peel if they do not have a natural affinity to bitumen. In 1995, the facing of Ste-CECILE D'ANDORGE dam was rehabilitated by applying an impervious layer, 6 cm thick, of light coloured bituminous concrete [HERMENT & JENSEN, 1996].

The owner of a dam whose water barrier is a bituminous concrete facing should be aware that, from time to time, there will necessarily be maintenance costs associated with that facing as well as with other parts of the dam. Those costs will be a function of the climate at the damsite, the operation of reservoir (i.e. how much and how often the water level fluctuates) and exposure to direct sunlight. The costs will usually relate only to maintenance and refurbishing, or restoration, of the seal coat.

By design, the seal coat shields the underlying layers from the elements which cause ageing. When the design is successful, the underlying layers can have a very long life. Accordingly, all other factors being normal, vigilance and care of the seal coat is all that is necessary to maintain a facing and ensure its long life.

10. INSPECTION ET AUSCULTATION

L'inspection et l'entretien du masque amont font partie intégrante de l'inspection et de l'entretien du barrage considéré dans son ensemble. Seuls seront traités ci-après les points se rapportant spécifiquement au masque amont.

Le suivi du comportement du système de masque comporte une inspection visuelle et une auscultation instrumentale.

Contrairement à la crête et au talus aval du barrage qui peuvent être inspectés régulièrement, sur une base annuelle, l'inspection visuelle du masque ne peut avoir lieu que lors d'une vidange du réservoir. Dans le cas d'un aménagement de stockage par pompage, cela se produit régulièrement et l'inspection visuelle du masque pourra annuellement coïncider avec celle du barrage. Pour d'autres types d'aménagements, lorsque la vidange se fait sur une base irrégulière et peu fréquemment, l'inspection visuelle du masque aura lieu chaque fois que l'occasion se présentera. L'inspection visuelle sert généralement à relever les changements de conditions survenus depuis la construction du barrage. Il faut porter une attention particulière à la détérioration du revêtement de fermeture, à la déformation de la crête et du talus du remblai, aux fissures sur le masque, aux glissements ou aux affaissements des couches.

L'auscultation au moyen d'appareils de mesures doit être continue. Si aucune irrégularité n'apparaît dans les résultats bruts, la fréquence des lectures peut être réduite, avec un compte rendu annuel dans le rapport sur le barrage. Si des irrégularités sont apparentes, l'enregistrement des données et leur interprétation se feront en temps réel et toute intervention pour porter remède sera prise immédiatement.

L'auscultation du masque permet de mesurer :

- a) les déformations, par secteur;
- b) les niveaux piézométriques dans le système de drainage sous-jacent, par secteur;
- c) les niveaux piézométriques dans le remblai;
- d) le débit dans le système de drainage sous-jacent, par secteur.

Les secteurs mentionnés en a), b) et d) doivent de préférence coïncider et diviser le revêtement amont du barrage à la fois horizontalement et verticalement. Un exemple d'une méthode valable de mesure des déformations est la méthode électrique de mesure de niveau utilisée à ROADFORD [DUNCANSON & JOHNSTON, 1988; TEDD et al., 1991] dans le sud-ouest de l'Angleterre (cf Fig. 10).

10. INSPECTION AND MONITORING

The inspection and maintenance of the facing is an integral part of the inspection and maintenance of the dam as a whole. Only those items related specifically to the facing will be discussed herein.

The monitoring of the condition and behaviour of the facing system consists of visual inspection, and instrumentation monitoring.

Unlike the dam, whose crest and downstream face can be visually inspected regularly, on an annual basis, the visual inspection of the facing can only take place when the reservoir is drawn down. In the case of a pumped-storage project this will occur regularly, and therefore the visual inspection of the facing can be included in the annual inspection of the dam. With other types of facilities, where drawdown is on an irregular and infrequent basis, the visual inspection of the facing will be made whenever the opportunity arises. The visual inspection is generally to detect conditions that have changed since construction. Particular attention should be focused on deterioration of the seal coat, deformation of the crest and slope of the embankment, cracking of the facing, slipping or slumping of the layers.

The instrumentation monitoring should be on a continuous basis. If there is nothing that appears irregular in the raw data, the frequency of readings can be reduced and reported on an annual basis, in the dam report. If irregularities are apparent, the data recording and interpretation should be achieved in real time, and any indicated remedial action taken at once.

Monitoring the facing system, includes the following measurements :

- a)* Deformation, by sector;
- b)* Piezometric levels in the underdrain system, by sector;
- c)* Piezometric levels in the embankment;
- d)* Rate of flow in the underdrain system, by sector.

The “ sectors ” for (a), (b) and (d) will preferably coincide, and subdivide the upstream face of the dam both horizontally and vertically. An example of a successful method of instrumenting deformation is the electro-level method, used at ROADFORD [DUNCANSON & JOHNSTON, 1988; TEDD et al., 1991] in Southwest England (cf. Figure 10).

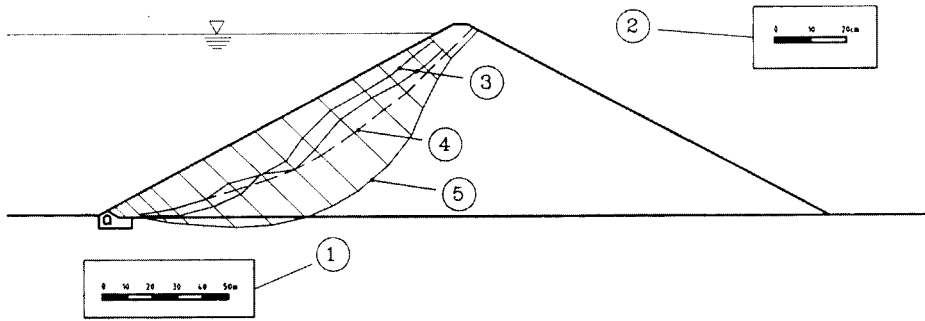


Fig. 10

Deformation of a bituminous concrete facing after the impounding of the reservoir [TANAKA et al., 1976]

Déformation d'un masque amont en béton bitumineux après remplissage du réservoir [TANAKA et al., 1976]

- | | |
|---|--|
| 1) Length scale (m) | 1) <i>Échelle des longueurs (m)</i> |
| 2) Displacement scale (cm) | 2) <i>Échelle des déplacements (cm)</i> |
| 3) Displacements measured by tilt-meters | 3) <i>Déplacements mesurés par inclinomètres</i> |
| 4) Displacements computed through non-linear F.E.M. | 4) <i>Déplacements calculés au moyen de la méthode non-linéaire des éléments finis</i> |
| 5) Displacements computed through linear elastic F.E.M. | 5) <i>Déplacements calculés au moyen de la méthode des éléments finis en élasticité linéaire</i> |

11. ENTRETIEN, RÉPARATIONS ET RÉHABILITATION

Si un masque en béton bitumineux ayant la fonction de barrière étanche peut présenter des faiblesses en cours de service et des détériorations dans le temps, il est, par contre, facilement accessible pour entretien et réparation. La seule condition requise est que la retenue soit vidée jusqu'en dessous de la zone où le travail doit être exécuté. L'importance de l'intervention peut varier d'un entretien mineur à une totale réhabilitation. Les travaux peuvent être classés comme suit :

- 1) réparations de surface;
- 2) réparations de couche;
- 3) remplacement majeur, concernant une ou plusieurs couches du masque.

La majeure partie des réparations tombe dans la catégorie 1). Elles comprennent :

A) le rapiècement local des zones endommagées de la couche imperméable (I);

B) le traitement et la fermeture des fissures qui peuvent pénétrer superficiellement ou profondément dans une ou plusieurs couches du masque;

C) le remplacement partiel ou complet du revêtement de fermeture.

Un exemple du type 2) est le renforcement avec acier ou géogrilles incorporés dans le béton bitumineux.

Les travaux de réparation en surface et de rapiècement local nécessitent l'élimination du matériau imperméable défectueux, le séchage à la flamme, si besoin est, de la surface ainsi préparée, l'application d'une émulsion de bitume, la mise en place et le compactage d'un béton bitumineux imperméable. Un enduit est alors appliqué, chevauchant sur la surface saine, non endommagée.

Les travaux de réparation de fissures comportent le décapage de la surface sur une largeur d'au moins 10 cm de part et d'autre de la fissure, le nettoyage de la fissure par élimination du matériau, éventuellement le préchauffage de la zone décapée, l'application d'un enduit, le remplissage de la fissure avec du béton bitumineux à chaud, le chauffage du joint et la mise en place d'un revêtement de fermeture.

Dans les réparations de surface, rapiècement local et réparation de fissures, les quantités de matériau bitumineux utilisées sont généralement faibles et, exception faite pour les zones très éloignées, sont transportées sur place prémélangées depuis une centrale d'enrobage voisine. Le matériel est généralement de petites dimensions et souvent exploité manuellement.

Les étapes à suivre pour des réparations plus importantes sont semblables à celles décrites pour les réparations de surface et le rapiècement local, mais elles

11. MAINTENANCE, REPAIRS AND REHABILITATION

Although a bituminous concrete facing functioning as the water barrier of a dam is subject to distress in service and deterioration with time, it is readily accessible for maintenance and repair. The only prerequisite for its repair is to draw down the reservoir below the area to be worked on. The work can vary from minor maintenance to full rehabilitation. The work can be classified into :

- (1) Surface repairs;
- (2) Layer repairs;
- (3) Major replacement, involving one or more of the layers of the facing.

The majority of repair work falls in category (1). This includes :

(A) Local patching of damaged areas of the impervious layer (I);

(B) Treating and sealing cracks that may penetrate superficially or all the way through one or more courses of the facing;

(C) Partial or full replacing of the seal-coat;

An example of type (2) is the reinforcement with steel or geogrids incorporated in bituminous concrete.

Surface repairs and local patching procedures involve milling off the faulty impervious material from the damaged area, flame drying the milled surface if necessary, applying a tack coat of emulsified bitumen, placing and compacting an impervious bituminous concrete. A coating is then applied and lapped over sound, undamaged surface.

Crack repair includes milling the surface to a width of at least 10 cm on each side of the crack, routing and blowing the crack clean, eventually preheating the milled area, applying the tack coat, caulking the crack with hot bituminous concrete, heating the joint, and applying the seal coat.

In surface repairs, local patching and crack repair, the quantities of bituminous material used in the repair are usually nominal and, except in very remote areas, are imported premixed from a nearby commercial batch plant. The equipment is usually small and often hand operated.

The steps involved in major repairs are similar to those described for surface repairs and local patching, but on a much larger scale. Disposal of the damaged

s'étendent sur une plus grande échelle. La présence du matériau endommagé peut poser un problème logistique important, et la meilleure solution est de le recycler. Toutefois, le matériau recyclé ne doit jamais être utilisé pour des couches imperméables de qualité supérieure. Étant donné l'objectif de l'opération de remplacement du masque, il est quelquefois justifié d'installer une station d'enrobage mobile sur place, d'importer ou de préparer les granulats, et d'importer le bitume.

Des géomembranes sont également adoptées pour la réparation de masques endommagés. Afin de permettre une application convenable, la géomembrane est généralement associée à un géotextile (formant ainsi un géocomposite). Les fibres de polyester sont les plus indiquées pour des applications dans un milieu bitumineux, mais la compatibilité des matériaux géosynthétiques avec le bitume et les matériaux de fermeture doit être vérifiée.

Un exemple intéressant d'une restauration répétée a été fourni récemment par HARDAP, barrage en terre et enrochement, d'une hauteur de 33 m, réalisé en Namibie en 1963 [SCHEWE, 1997]. Le masque amont initial comprenait : un perré en pierres mises en place à la main, d'une épaisseur de 100 à 500 mm, jointoyé par un coulis de mortier de ciment jusqu'à une profondeur de 50 mm, au taux de 100 l/m²; une couche de liaison bitumineuse semi-perméable d'une épaisseur minimale de 60 mm ; une couche imperméable de béton bitumineux, de 100 mm d'épaisseur, épandue en deux épaisseurs de 50 mm; un mastic de fermeture de 3 mm environ d'épaisseur.

Des défauts sont apparus plusieurs fois sous la forme de trous (dimensions de 1 à 2 m) à travers le masque amont, sur une période d'exploitation de 30 ans. En outre, la structure a été sérieusement affectée par des fissures et des craquelures dues probablement à des effets thermiques. Des signes de fragilité de la couche de fermeture et du béton bitumineux étaient aussi évidents et ils empiraient avec le temps. L'épaisseur non uniforme et l'imperfection de quelques joints dues à des défauts de construction ont contribué au comportement non satisfaisant de la structure.

Une première restauration a été réalisée en 1993 avec le décapage du masque existant jusqu'à une profondeur de 70 mm environ, dans la zone au-dessus du niveau minimal de la retenue. En particulier, les fissures de profondeur supérieure à 70 mm ont été bouchées, et la surface décapée a été traitée avec une émulsion bitumineuse (650 g/m² environ) servant de film d'adhésion. Une nouvelle couche de béton bitumineux a été mise en place par bandes horizontales avec un joint horizontal, en forme de coin, entre l'ancien et le nouveau masque; une couche de fermeture de 2 mm en mastic bitumineux stabilisé avec du caoutchouc a été appliquée.

À son tour, le nouveau masque a présenté des problèmes constitués principalement par des mouvements de la section restaurée par rapport à l'ancienne. Les mouvements consistaient en la formation progressive de bosses et de creux concentrés le long des joints horizontaux, associés à des fissures et craquelures très étendues. Un ressuage de l'émulsion bitumineuse appliquée comme enduit d'adhésion sur la surface décapée du vieux masque fut observé à travers les joints.

Après investigations très poussées, on a attribué le mauvais comportement du nouveau masque principalement aux caractéristiques non appropriées (faible

material can become a major logistical problem, and recycling is often a better solution. However, recycled material must never be used for high quality impervious layers. The scope of work involved in replacing the facing will sometimes justify setting up a mobile batch plant on site, importing or manufacturing the aggregates, and importing the bitumen.

Geomembranes are also used in repairing damaged facings. In order to allow a proper application, the geomembrane is usually coupled to a geotextile (thus forming a geocomposite). Polyester fibers are the most suitable to applications in a bituminous environment but the compatibility of geosynthetic materials with bitumen and the necessary sealants must be checked.

An interesting example of a repeated refurbishment was recently offered by the case of HARDAP, a 33 m high earthfill/rockfill dam built in Namibia in 1963 [SCHEWE, 1997]. The original facing included a 100 to 500 mm revetment of handplaced stones treated with cement mortar slurry up to the depth of 50 mm spread at the rate of 100 l/m²; a semipervious bituminous binder layer, with a minimum thickness of 60 mm; a 100 mm thick bituminous concrete impervious layer constructed in two 50 mm thick courses; a mastic seal ~ 3 mm thick.

Defects appeared repeatedly in the form of holes (dimensions 1÷2m) through the facing during 30 years of service. Moreover, the structure was intensively affected by fissures and cracks possibly due to thermal effects. Signs of embrittlement of the seal and of the conglomerate were also evident and accelerated with time. The non-uniform thickness and the imperfections of some joints due to construction defects contributed to the unsatisfactory performance of the structure.

A first rehabilitation was performed in 1993 with the milling of the existing facing to a depth of ~ 70 mm in the portion above the minimum water level. In particular, the cracks extending deeper than 70 mm were backfilled and the milled surface was treated with bituminous emulsion (~ 0.65 kg/m²) as tack coat. A new layer of conglomerate was placed in horizontal lanes with the creation of a wedge shaped horizontal joint between old and new facing; a 2 mm sealing coat consisting of bituminous mastic stabilized with rubber was applied.

Also the new facing created problems consisting mainly in movements of the renovated section with respect to the old one. The movements consisted in the progressive formation of humps and depressions concentrated along the horizontal joints associated with extensive fissures and cracks. Bleeding of the bituminous emulsion applied as tack coat on the milled surface of the old facing was observed through the joints.

After extensive investigation, the bad performance of the newly placed facing was mainly attributed to a non-appropriate type (low viscosity) and an excessive

viscosité) et à une quantité excessive de l'enduit d'adhésion. Ce mauvais résultat pouvait être également dû en partie à une teneur trop élevée en bitume dans les zones plus intensivement affectées par des fissures et craquelures.

Une nouvelle restauration a été réalisée en 1995 par une reconstitution plus soignée du masque sur une profondeur de 100 mm. Dans cette intervention, le film d'adhésion sur la surface décapée a été épandue au taux de 120-130 g/m².

Les enseignements à tirer de cet exemple portent essentiellement sur le rôle crucial du film d'adhésion. En général, les glissements et surtout le ressuage du film d'adhésion indiquent une application excessive de ce film. Pour obtenir une bonne liaison entre la couche de base et la couche imperméable de béton bitumineux, la quantité de film d'adhésion doit être suffisante pour éviter la séparation des deux couches, mais pas trop grande parce qu'une quantité excessive réduit la résistance au cisaillement au contact.

La quantité de film d'adhésion dépend essentiellement des conditions de surface de la couche de base. Des surfaces lisses nécessitent une moindre quantité que des surfaces rugueuses ou avec des vides ouverts. Des couches bitumineuses fraîches nécessitent également une moindre quantité de film d'adhésion qu'une couche bitumineuse ancienne, sèche et décapée, qui absorbe plus d'émulsion. La poussière et les particules lâches déposées sur la surface conduisent également à une consommation plus grande de film d'adhésion. La quantité est aussi influencée par les conditions climatiques, comme la température et le vent. Il n'est donc pas possible de spécifier une quantité standard d'enduit d'adhésion. Il sera donc nécessaire de déterminer la quantité optimale à partir d'essais tenant compte des conditions de la surface de base et des conditions climatiques. Dans la littérature sont indiqués, pour des travaux de rénovation, des taux entre 300 et 2 000 g/m². Le taux normal correspond à "la moindre quantité possible" mais devant être suffisante pour assurer une bonne liaison.

Dans les comptes rendus des Congrès de la CIGB, un certain nombre d'exemples de réparations sont mentionnés. Quelques références sont indiquées ci-après :

CFGB, 1979; CFGB, 1988; FABIAN & DITTER, 1988 (p. 327); MARKMART et al., 1988 (p. 619); ROUTH, 1988; SCLD, 1988; SMITH et al., 1988; STEFFEN, 1976 (pp. 395-398); TSCHERNUTTER, 1988 (pp. 1108, 1110 et 1115); WELLACHER & TSCHERNUTTER, 1985.

Toutefois, dans beaucoup de cas, des informations détaillées sur les résultats de réparations effectuées selon diverses techniques font encore défaut.

Il est fortement recommandé que toute réparation soit précédée d'une recherche approfondie sur les causes de rupture.

quantity of the tack coat. The unsatisfactory performance was perhaps also partly due to a too high bitumen content characterizing the areas more intensively affected by cracks and fissures.

A new definitive remedial measure was undertaken in 1995, consisting of a more thorough refurbishment of the facing up to the depth of 100 mm. In this case, on the milled surface, the tack coat was sprayed in the quantity of $0.12 \div 0.13 \text{ kg/m}^2$.

Hence, the lessons to be learned from this case history regard essentially the crucial role of the tack coat. In general, sliding features and mainly the bleeding of the tack coat indicate excessive application of tack coat. In order to achieve a good bond between the base layer and the impervious bituminous concrete layer, the amount of tack coat should be sufficient to avoid separation of the two layers, but not too high as an excessive quantity reduces the contact shearing strength.

The required amount of tack coat depends mainly on the condition of the surface of the base layer. Smooth surfaces needs less tack coat than rough ones or surfaces with open voids. Also, less tack coat is required on freshly placed bituminous layers than on an old, dried-out, milled-off bituminous concrete layer which absorbs most part of the tack coat. Dust and loose particles on the surface have also a high tack coat consumption. The required amount of tack coat is also influenced by climatic conditions such as temperature and wind. Therefore, it is not possible to recommend a standard amount of tack coat. This has to be determined by trials, taking into account the condition of the base layer and the weather action. For rehabilitation works, the literature indicates quantities between 0.3 and 2.0 kg/m^2 . The normal standard is "as little as possible" and as much as required to provide a good bond.

In Proceedings of ICOLD Congresses a number of other case histories on repairs are reported. Some references on this topic are :

CFGB, 1979; CFGB, 1988; FABIAN & DITTER, 1988 (p. 327); MARKMART et al., 1988 (p. 619); ROUTH, 1988; SCLD, 1988; SMITH et al., 1988; STEFFEN, 1976 (pp. 395-398); TSCHERNUTTER, 1988 (pp. 1108, 1110 et 1115); WELLACHER & TSCHERNUTTER, 1985.

However, in many cases, full and detailed information on the success of repairs accomplished with different techniques is still lacking.

Before repairing, an accurate search for failure causes is strongly recommended.

ANNEXES/APPENDICES

Annexe 1 - Glossaire

Appendix 1 - Glossary

Annexe 2 - Liste de barrages en rem-
blai avec masque amont en
béton bitumineux

Appendix 2 - List of embankment
dams with bituminous
concrete facing

Annexe 3 - Références

Appendix 3 - References

ANNEXE 1

GLOSSAIRE

AFFAISSEMENT	: état limite indiquant un manque de consistance des revêtements bitumineux épais
ASPHALTE	: roche composée principalement de mélanges d'hydrocarbures présents à l'état naturel dans différentes parties de la terre
BÉTON BITUMINEUX	: béton préparé avec des granulats artificiels ou naturels, tels que filler, sable, gravier, et avec un liant bitumineux dérivé des résidus de distillation du pétrole
BITUME	: substance artificielle composée principalement d'hydrocarbures lourds résultant des opérations de distillation du pétrole
BITUME MODIFIÉ	: bitume modifié par des additifs, tels que latex, fibres et polymères, pour améliorer certaines propriétés du matériau
BOURSOUFFLEMENT	: gonflement local indésirable de la couche de fermeture, qui apparaît sous la forme d'une cloque ou bulle contenant du gaz sous faible pression
COMPARTIMENTS	: sections du système de détection des fuites, de sorte que toute fuite peut être rattachée à une section spécifique du masque
COUCHE	: couche de béton bitumineux composant le masque : une couche peut être épanchée en une seule épaisseur ou en superposant plusieurs épaisseurs
COUCHE DE FERMETURE	: couche externe mince d'émulsion bitumineuse appliquée à froid, ou de mastic bitumineux appliqué à chaud, ayant la fonction de préserver le masque de la détérioration causée par des agents atmosphériques
COUCHE DE PROTECTION	: couche de béton bitumineux revêtant le masque et ayant pour rôle de le protéger contre les actions mécaniques; la couche de protection ne doit pas être confondue avec la couche de fermeture
COUCHE DRAINANTE	: couche de béton bitumineux poreux jouant le rôle de drain dans le système de masque

COUCHE IMPERMÉABLE	: couche de béton bitumineux constituant principalement un élément d'étanchéité
COUCHE-SUPPORT (DE LIAISON)	: couche de béton bitumineux ayant les fonctions de liaison, d'égalisation et de support du masque
DALLE DE PIED	: voir socle
DÉTECTEUR DE FUITE	: rôle attribué, dans le masque Type A (bicouche), à la couche drainante; elle contrôle l'eau traversant éventuellement la première couche imperméable et recueillie dans la galerie
ENDUIT	: revêtement d'émulsion bitumineuse ou de bitume chaud, épandu sur une surface dans le but de fixer ou de lier deux couches; voir également primer
ÉPAISSEUR	: couche élémentaire continue de béton bitumineux, épandue en une seule opération, faisant partie des séries prescrites pour former une couche
ÉTAT LIMITE	: tout événement indésirable qui limite les performances du masque
FILLER	: fraction fine non plastique de divers matériaux, qui est ajoutée au conglomerat pour obtenir les propriétés prescrites, telles que maniabilité et compatibilité du mélange
FINISSEUR	: machine utilisée pour les travaux de finition d'une couche
GALERIE	: galerie accessible, située dans le socle, permettant l'inspection, le drainage, les traitements par injection et l'auscultation
JOINT	: ligne le long de laquelle sont raccordées deux parties adjacentes d'un masque
LEVÉE	: voir épaisseur
LIANT	: substance artificielle utilisée pour unir entre eux les granulats après le compactage : le bitume est utilisé comme liant dans un conglomerat bitumineux
MASQUE AMONT	: parement ou revêtement externe amont d'un barrage en terre ou en enrochement, ayant différentes fonctions, et en premier lieu celle d'étanchéité; un masque peut être constitué de divers matériaux. Un masque en béton bitumineux peut être formé d'une seule couche imperméable (Type B), ou de deux couches imperméables (Type A) séparées par une couche drainante

MUR PARAFOUILLE	: mur-poids en béton situé dans une tranchée, ou paroi mince d'étanchéité, conçus dans le but de couper les percolations autour du socle, à travers la fondation du barrage en remblai
PÉNÉTRATION	: propriété adoptée pour mesurer la consistance du bitume; l'indice de pénétration peut être différent suivant les diverses couches du masque
PRIMER	: produit bitumineux utilisé dans le traitement de la surface entre les épaisseurs d'un masque en béton bitumineux; le primer augmente l'adhérence, en particulier quand les épaisseurs ne sont pas exécutées immédiatement les unes après les autres
RAPIÈCEMENT	: réparation locale d'une zone endommagée de la couche imperméable du masque
RÉHABILITATION	: traitement exécuté sur un masque gravement endommagé; la réhabilitation est généralement effectuée en recouvrant totalement le masque ancien d'une nouvelle couche de béton bitumineux imperméable
RÉPARATION	: mesure nécessaire pour maintenir le masque en service jusqu'au moment d'une réhabilitation éventuelle
SÉPARATION	: état limite consistant en la séparation physique entre deux épaisseurs ou couches formant un masque
REVÊTEMENT RÉFLÉCHISSANT	: peinture ou revêtement sur la surface externe du masque pour réfléchir les rayons du soleil, en particulier les infrarouges
SOCLE	: élément périphérique en béton armé du système étanche, qui sert de support au système de masque et de parafouille dans la fondation du barrage. Le socle peut loger une galerie de contrôle accessible et permettant l'inspection, le drainage, les traitements par injection et l'auscultation selon les besoins
SUPPORT	: fonction portante d'une couche
TENEUR EN BITUME	: rapport entre le poids du bitume et celui de l'ensemble du mélange
VIEILLISSEMENT	: conséquence de l'effet à long terme de l'évaporation des substances volatiles à la surface du béton bitumineux; l'évaporation durcit le bitume et le prédispose à la fissuration

APPENDIX 1

GLOSSARY

AGEING	: long time effect consequence of evaporation of the volatiles from the surface of bituminous concrete; evaporation hardens bitumen and makes it subject to cracking
ASPHALT	: a rock impregnated mainly of mixtures of hydrocarbons occurring native in various parts of the earth
BEARING	: the supporting function of a layer
BINDER	: an artificial substance used to hold loose aggregates together after compacting; in bituminous conglomerate practice the bitumen is used as binder
BINDER LAYER	: a bituminous concrete layer serving the different functions of binding, leveling and bearing the facing
BITUMEN	: an artificial substance, consisting mainly of heavy hydrocarbons resulting as a by-product of petroleum-distillation
BITUMEN CONTENT	: the ratio of the weight of the bitumen to total mix by weight
BITUMINOUS CONCRETE	: a concrete prepared with artificial or natural aggregates, such as filler, sand, gravel with a bituminous binder derived from oil distillation residua
BLISTERING	: the undesirable local rise of the external seal coat appearing as a vesicle or bubble containing gas under slight pressure
COMPARTMENTS	: sections of the leakage detection system so that any leak can be related to a specific section of the facing
COURSE	: an elementary continuous bed of bituminous conglomerate layed in a single construction operation as part of the systematic prescribed series forming a layer
CUT OFF WALL	: a concrete gravity wall seated in a trench or a thin diaphragm that are designed for the purpose of cutting the seepage around the plinth through the foundation of the embankment dam

DRAINAGE LAYER	: the porous bituminous concrete layer functioning as a drain in the facing system
FACING	: the external upstream covering or revetment of an embankment dam with different functions, primarily tightness; a facing can be made up of different materials A bituminous conglomerate facing may be composed of a single impervious layer (Type B) or of two layers (Type A) separated by a drainage layer
FILLER	: the non plastic fine fraction of different materials that are added to a conglomerate to promote the required properties, such as workability and compactability of the mix.
FINISHER	: the machine used to bring to completion the surface of a course
GALLERY	: a walk housed in the plinth with inspection, drainage, grouting, monitoring functions as needed
IMPERVIOUS LAYER	: the bituminous concrete layer serving primarily as a watertight element of the facing
JOINT	: the line along which two successively constructed adjacent parts of a facing are united
LAYER	: a stratum of bituminous concrete composing the facing; a layer can be laid in a single course or it can be constructed by superposing more than one course
LEAKAGE DETECTOR	: a function attributed to the drainage layer in a Type A facing as the drain controls the water moving eventually across the first impervious layer into the gallery
LIFT	: see course
LIMIT STATE	: any undesirable event limiting the performance of the facing
MODIFIED BITUMEN	: a bitumen modified by additives, such as latex, fibres and polymers, to improve some property of the material
PATCHING	: local repairs of damaged areas of the impervious layer of the facing
PENETRATION	: a property adopted to measure the consistency of the bitumen; the penetration grade can be different in the different layers of the facing

PLINTH	: a reinforced concrete peripheral element of the water barrier system acting as footing for the facing system and cutoff into the dam foundations. The plinth can house an accessible control gallery with inspection, drainage, grouting, monitoring functions as needed
PRIMER	: a bituminous product used in the treatment of the surface between single layers of a bituminous concrete facing; the primer increases adhesion, particularly when the successive course are not manufactured in immediate sequence
PROTECTION COURSE	: course of bituminous concrete covering the facing with a function of defending it from mechanical actions; the protection course should not be confused with the seal coat
REFLECTIVE TREATMENT	: a painting or coating on the external surface of the facing aimed at reflecting the sun rays, especially infrared
REHABILITATION	: a treatment extended to a severely damaged facing; the rehabilitation is generally achieved by fully covering the old facing with a new layer of impervious bituminous concrete
REPAIR	: a measure that is necessary to keep the facing in service until eventually a rehabilitation is performed
SEAL COAT	: an external thin layer of cold applied bitumen emulsion or a hot applied bitumen mastic with the function of preserving the facing from the weathering detrimental effects
SEAM	: the line between abutting edges of lanes pertaining to different construction stages
SLUMPING	: a limit state showing a loss of consistency of thick bitumen coats
TACK COAT	: a coat of bituminous emulsion or a hot bitumen sprayed on a surface with the purpose of fastening or joining together two layers; see also primer
TOE SLAB	: see plinth

ANNEXE 2

LISTE DE BARRAGES EN REMBLAI AVEC MASQUE EN BÉTON BITUMINEUX

SYMBOLES

BN	Couche-support (de liaison) (cm)	U	Supérieur
CN	Pays (voir légende particulière)	R	Retenue
D	Barrage	Rr	Retenue avec masque restauré ou réhabilité
Dr	Barrage avec masque restauré ou réhabilité	REF	Références à des études de cas importants (voir également liste à l'Annexe 3)
DR	Couche drainante (cm)	S	Superficie du béton bitumineux (10 ³ m ²)
D/R	Barrage-Retenue	SL	Pente du talus (V : H)
EL	Altitude de la crête (m)	Y	Année d'achèvement de D, Dr, R, Rr
H	Hauteur du barrage/retenue (m)	*	Couche non bitumineuse
I	Couche externe imperméable (cm)	#	Y compris versants et fond
II	Couche interne imperméable (cm)	~	Le masque bitumineux ne s'étend pas sur toute la hauteur H du remblai
N	Numéro attribué au barrage (ou retenue) dans le Bulletin 32		
L	Inférieur		

PAYS

A	Autriche	F	France	P	Portugal
AS	Arabie Saoudite	I	Italie	PL	Pologne
AUS	Australie	IR	Iran	RO	Roumanie
B	Belgique	IRL	Irlande	SU	ex-Union Soviétique
CH	Suisse	IRQ	Irak	TJ	Chine
CS	ex-Tchécoslovaquie	IS	Islande	UK	Royaume-Uni
D	Allemagne	J	Japon	USA	États-Unis d'Amérique
DK	Danemark	L	Luxembourg	WAN	Nigéria
DZ	Algérie	MAL	Malaisie	YU	ex-Yougoslavie
E	Espagne	MES	Mésopotamie	YV	Venezuela
EAK	Kenya	N	Norvège	Z	Zambie
EC	Équateur	NAM	Namibie	ZA	Afrique du Sud
ETH	Éthiopie	NL	Pays-Bas		

APPENDIX 2

LIST OF EMBANKMENT DAMS WITH BITUMINOUS CONCRETE FACING

SYMBOLS

<p>BN Binder layer (cm)</p> <p>CN Country (see specific legend)</p> <p>D Dam</p> <p>Dr Dam with a restored or rehabilitated facing</p> <p>DR Drainage layer (cm)</p> <p>D/R Dam/Reservoir</p> <p>EL Crest elevation above s.l. (m)</p> <p>H Dam/Reservoir height (m)</p> <p>I External impervious layer (cm)</p> <p>II Internal impervious layer (cm)</p> <p>N Number assigned to the dam (or the reservoir) in Bulletin 32</p> <p>L Lower</p> <p>U Upper</p> <p>R Reservoir</p>	<p>Rr Reservoir with a restored or rehabilitated facing</p> <p>REF References of relevant case studies (see also list in Appendix 3)</p> <p>S Surface area of bituminous concrete (10^3 m^2)</p> <p>SL Slope (V : H)</p> <p>Y Year of completion of D, Dr, R, Rr</p> <p>* Non bituminous layer</p> <p># Including both slopes and bottom</p> <p>~ The bituminous facing does not cover the total height H</p>
--	--

COUNTRIES

<p>A Austria</p> <p>AS Saudi Arabia</p> <p>AUS Australia</p> <p>B Belgium</p> <p>CH Switzerland</p> <p>CS ex-Czechoslovakia</p> <p>D Germany</p> <p>DK Denmark</p> <p>DZ Algeria</p> <p>E Spain</p> <p>EAK Kenya</p> <p>EC Ecuador</p> <p>ETH Ethiopia</p>	<p>F France</p> <p>I Italy</p> <p>IR Iran</p> <p>IRL Ireland</p> <p>IRQ Iraq</p> <p>IS Iceland</p> <p>J Japan</p> <p>L Luxemburg</p> <p>MAL Malaysia</p> <p>MES Mesopotamia</p> <p>N Norway</p> <p>NAM Namibia</p> <p>NL Netherlands</p>	<p>P Portugal</p> <p>PL Poland</p> <p>RO Roumania</p> <p>SU ex - Soviet Union</p> <p>TJ China</p> <p>UK United Kingdom</p> <p>USA United States of America</p> <p>WAN Nigeria</p> <p>YU ex-Yugoslavia</p> <p>YV Venezuela</p> <p>Z Zambia</p> <p>ZA South Africa</p>
---	---	--

Quand la couche externe imperméable (I) est épanchée directement sur une couche bitumineuse poreuse (laquelle sert de couche-support-de liaison), l'épaisseur de cette dernière couche (BN) est donnée dans la colonne BN.

Quand la superficie (S) se rapporte à une retenue (R), les deux chiffres contenus dans les tableaux indiquent respectivement la superficie de versant revêtu (chiffre supérieur) et la superficie de fond revêtu.

Lorsque les tableaux contiennent plus d'un chiffre dans une colonne indiquant l'épaisseur d'une couche, celle-ci a été exécutée en plusieurs épaisseurs, chaque épaisseur étant affectée d'un chiffre; le premier chiffre correspond à l'épaisseur la plus externe. L'épaisseur totale de la couche, en cm, est la somme des chiffres.

Les références indiquées dans la colonne REF figurent dans l'Annexe 3.

Le numéro (N) correspond au numéro attribué au barrage (ou retenue) dans le Bulletin 32.

When the external impervious layer (I) is laid directly on a porous bituminous layer (this serves as binder layer), the thickness of the last (BN) layer is allocated under the BN column.

When the surface area (S) is referred to reservoirs (R), the two figures appearing in the tables indicate respectively the slope faced area (upper number) and the bottom faced area.

When the tables show more than one number in a column giving the thickness dimension of a layer, each number represents the thickness of a course, with the first or top number being the outer course. The total thickness of the layer, in cm, is the sum of the numbers listed.

The number under reference (REF) corresponds to the number in Appendix 3.

The number under (N) corresponds to the number assigned to the dam (or the reservoir) in Bulletin 32.

**EMBANKMENT DAMS WITH BITUMINOUS CONCRETE UPSTREAM FACING
BARRAGES EN REMBLAI AVEC MASQUE AMONT EN BETON BITUMINEUX**

NAME / NOM	CN	Y	D/R	H	S	EL	SL	BN	II	DR	I	REFERENCES	N
AARTAL	D	1987	D	14.0	6	273	1:1.80	8	-	-	7		
ABONO	E	1970	D	15.0	13		1:2.35	3	6	12	12		119
ALENTO	I	1993	D	44.0	37	125	1:2.00	5	5	8	5 + 5		
ALESANI	F	1969	D	65.0	13	165	1:1.60	10	-	-	6 + 6		103
ALMENDRA CII	E	1968	D	30.0	20	733	1:1.75	-	4	6	7		95
ALMENDRA CIII	E	1968	D	29.0	23	733	1:1.75	-	4	6	7		96
AMECKE	D	1995	Dr	13.0	3	285	1:2.00		-	-	6 + 6		2
ANAPO INFERIORE	I	1986	R	30.0	456#	98	1:2.80	10	-	-	6	JAPPELLI et al. 1985, JAPPELLI et al. 1988	
ANAPO SUPERIORE	I	1985	R	30.0	362#	409	1:2.00	10	-	-	6	JAPPELLI et al. 1985, JAPPELLI et al. 1988	
ANCHAL	F	1986	D	27.0	4	665	1:2.00	10	-	-	5 + 5	CFGB 1988	
ANIMAS RIVER	USA	1981	D	24.0			1:1.70	5	-	-	7.5 + 4.5	EFRIMIDIS 1979	
APARTADURA	P	1990	D	47.0	13	598	1:1.60	15	5	15	7.5 + 7.5	GONZALES, RODRIGUES 1988	
ARCICHIARO	I	1997	D	80.5	30	859	1:2.00	6	-	-	3 + 3		
ARYA MEHR	IR	1972	R	6.0	240#	1251	1:(2 ÷ 5)	9	-	-	6		
ASSUR	MES	1300BC	D									VAN ASBECK 1964	
AUBECKEN	D	1977	D	18.0	20	316	1:1.75	8	-	-	8		
AZNALCOLLAR	E	1977	D	45.0			1:1.50						
BALAKOV I	SU	1973	R		50		1:2.00	20	-	5	5		153

BALAKOV II	SU	1974	R		150					15	-	5	5		160
BAMBA	J	1988	R	28.4	179		1:2.70			5	4	7	5+5		
BASTELOS	P	1994	D												
BAUTZEN	D	1976	D	18.0	49	172	1:2.00			14	-	-	4+4		
BIESBOSCH	NL	1974	R	9.0		9	1:3.57						6+4	VISSER et al. 1975	
BIGGE	D	1964	D	55.0	46	311	1:1.75			3 ÷ 7	6	11	6+6	STEFFEN 1976	67
BLUE CANYON	USA	1982	D	43.0			1:1.70								
BONNY	USA	1951	R	7.0			1:2.00			-	-	-	5 ÷ 10		13
BORING	USA	1989	D	9.5			1:2.00			-	-	-	15 ÷ 20		
BOSTAL	D	1973	D	22.5	23	403	1:2.00			6	-	-	6		146
BOU HANIFIA	DZ	1938	D	55.0	23	300	1:0.80			(12 ÷ 20)*	-	-	12		8
					170										
BRINDISI	I	1962	R	6.5	120		1:2.50			10*	-	6	3+3		54
BRUSH MOUNTAIN (KETTLE)	USA	1990	D	18.0			1:2.50						10+10		
BULL CANAL	USA	1980	D	13.0			1:2.50						5 ÷ 9		
CAN SAMADA	E		D	49.0	18	86	1:1.75			-	6	10	6		177
CARBONNE	F	1970	D	16.0	6	150	1:2.50			12	-	-	5+5		113
CARITAYA															
CARRIERE SOMECA	F	1986	D												
CARRU SEGAU	I	1987	D	18.0	35	150	1:2.00			8	6	8	8		
CASTELLO	I	1982	D	49.5	60	295	1:2.00			15	5	10	8		

NAME / NOM	CN	Y	D/R	H	S	EL	SL	BN	II	DR	I	REFERENCES	N
CATAVERAL	E		D	65.0	28	254	1:1.70	8	6	10	6		175
CENTRAL	USA	1910	D	17.0				-	-	-	10		
CERVATOS	E	1971	D	30.0	13		1:2.75						124
CESIMA	I	1987	D	44.5	350#	648	1:2.00	60	-	10	8	ITCOLD 1988	
CHATELARD (CFE)	CH	1976	R	26.0	5	1118	1:1.75	7*			6 ÷ 9		
CHATELARD (ESA)	CH	1973	R	11.0				20*	-	-	9	SCLD 1988. BERTSCHINGER 1994	167
CHIAUCI	I	1997	D	78.0	13	762	1:1.60	8	5	8	4 + 4		145
CIERNY VAH	CS	1981	R		94	1160	1:2.00	8	-	-	4 + 4	MARKMART. KUBICEK. PETRATUR 1988	
COFRENTES I	E	1993	R		10								
COFRENTES II	E	1995	R		19		1:2.00	-	-	-	7		
COLIBITA	RO	1993	D	92.0	18		1:1.70		12	15	12		
COLLIFORD	UK	1983	D	30.0	9	254	1:2.00	35	-	-	7 + 8	DUNCANSON, JOHNSTON 1988	
COO Lower downstream	B	1969	D	30.0	13	249	1:2.00	-	1 ÷ 5	6	6		105
COO Lower upstream	B	1969	D	21.0	12	249	1:2.00	-	1 ÷ 5	6	6		106
COO Upper I	B	1969	R	21.0	110	510	1:2.00	8		2.5	6		
COO Upper II	B	1978	R	51.0	125	510	1:2.00	20*	-	4.5	5		110
					102		1:2.00				6		
					125	510	1:∞		-	-	5		110

CROIX	CH	1956	D	15.0	3	920	1:1.50	-	-	-	4+4	28
DASHANKOU	TJ		D	72.0								
DEESBACH	D	1988	D	45.0	11	46	1:2.00	8	-	-	4+4	
DEVIL C. II A.B.	USA	1994	R	8.0	160	590	1:2.50	7.5			10.0	
DISSBACH	A	1964	D	37.0	8	1418	1:1.70	6	-	-	3+3	61
DORLAY	F	1972	D	44.0	16	513	1:1.70	12	-	-	6+6	135
DRAPERIE	F	1975	D	11.0	6	125	1:1.50	-	30	-	-	
DREILÄGERBACH	D	1950	D		1		1:2.50	5	-	-	6	11
DUNGONNELL	UK	1970	D	17.0	4	291	1:1.70	-	7.5	12.5	5+5	114
					55		1:2.50				8	
DÜRROH	D	1996	R	10.0	197		1:∞		-	-	8	
EDOLO	I	1983	R	26.0	160#	659	1:2.50	10	-	-	6	
					72						6	
EGGERG	D	1965	R	25.5	70	703	1:1.75	-	-	5	5	77
					6							
EGGEN	CH	1957	R	10.0	5	1598	1:2.00	15*	-	-	4+4	34
EIDISVATN	DK	1987	D	11÷21	18	150	1:1.75	15	-	-	8+5	
EL AGREM	DZ	1994	D	63.0	39	147	1:1.70	4	6	8	4+4	
					49		1:2.50				6	
EL FEDERAL	E	1992	R	17.0	45		1:∞		-	-	6	
EL GHRIB	DZ	1936	D	72.0	13	435	1:0.70	-	-	8*	6+6	3
EL LIMONERO	E		D	101.0	35	125	1:1.50					178
EL SALTADERO	E		R	21.5	40	110	1:1.75					180

NAME / NOM	CN	Y	D/R	H	S	EL	SL	BN	II	DR	I	REFERENCES	N
EL SIBERIO	E	1978	D	82.0	16	277	1:1.60	-	6	8	9 ÷ 12	ALONSO F. et al. 1988. CASTILLO R. et al. 1976. JUSTO 1990	173
ERZHAUSEN	D	1964	R	18.0	105	395	1:2.00	6	3	10	6	STEFFEN 1976	71
ESTANDA	E		D	42.0	9	255	1:1.75	5	6	9	6+6		176
ÉTANG	F	1981	D	30.0	15	705	1:2.00	8	-	-	6+6	DESMOULINS 1981	
FELDSEE	A	1981	D	17.0	8	2217	1:1.70	6	-	-	7	TSCHERNUTTER 1988	112
FELINDRE	UK	1971	R	10.0	15		1:2.00	6	-	-	6	BOBBE et al. 1995	
FIONNAY (FMM)	CH	1956	R	14.0	8	1494	1:1.67	15	-	-	4+4		35
FIONNAY (GD)	CH	1957	D	31.0	2	1486	1:1.50	10*	-	-	4+4		32
FORSVATN	N	1961	D	6.0	0.3	850	1:1.70	10	-	-	10		50
FREILINGEN	D	1974	D	20.0	10		1:1.90	8	-	-	8 ÷ 11	STEFFEN 1976	
FRIED	CH	1964	R	12.0	9	1742	1:1.75	15	-	-	4+4		68
FUTABA	J	1977	D	59.8	18	418	1:1.85	5	4	22*	5 ÷ 4		169
GABIKOVO	CS	1989	D				1:2.50	4	-	4	8	MARKMART et al. 1985	
GALGENBICHL	A	1975	D	50.0	6	1706	1:1.60	8	-	-	8		164
GEESTE	D	1987	R	17.0	1850#		1:3.00	20	-	-	7	HAUG et al. 1988	
GEESTHACHT	D	1957	R	26.0	220	93	1:2.50	5	-	-	3.5+3.5	FABIAN et al. 1988. HAAS et al. 1988. HAUG 1985. JUSTO 1990	33

NAME / NOM	CN	Y	D/R	H	S	EL	SL	BN	II	DR	I	REFERENCES	N
HAVNARDALUR	DK	1966	D	12.0	6	163	1:1.70	-	-	-	5+5		76
HEDEIRA													
HENNE	D	1955	D	58.0	29	327	1:2.07	6	3.5-3.5	10	3+3+3	STEFFEN 1976	21
HIEFLAU	A	1988	Rr	12.0	25		1:2.50		-	-	8		
					40		1:1.75	5			6		
HEIFLAU-WAGSPEICHER	A	1963	R	12.0	145	567	1:x	3	-	-	5	FEINER et al. 1964	59
HIGASHIFUJI	J	1972	R	22.0	60	678	1:2.50	4	5	10	5		
HOCHWURTEN	A	1980	D	55.0	15	2417	1:1.65	8	-	-	8	ITCOLD 1981, TSCHERNUTTER 1988, WALO B. 1994	
HOMESTAKE	USA	1967	D	69.0	52	3131	1:1.60	35	-	-	4+4		87
					120						8		
HORNBERG	D	1974	R	40.0	67	1050	1:1.60	5	-	-	5	STEFFEN 1976, WALO B. 1994	159
HUESNA	E	1988	D	73.0	22	280	1:1.60	8	6		6	ALONSO F. et al. 1988, JUSTO 1990, MOPU 1988	
											4+4		
INNERFRAGANT	A	1968	R	16.0	15	1203	1:1.75	-	-	6	7	TSCHERNUTTER 1988	98
INNERSTE	D	1966	D	45.0	39	264	1:1.75	8	5	10	4+4	STEFFEN 1976	81
IRIKLA	SU	1971	R		60			15	-	5	5		132
IRILEMDA	DZ	1954	D	71.0	7	536	1:1.60	12*	-	-	6+6		19
IRON MOUNTAIN	USA	1937	D		43		1:2.00	-	-	-	15		4
JULSKARET	N	1964	D	7.0	1	461	1:1.70	2.5	-	-	6		70
KALGOORLIE													

KAMBURU	EAK	1973	D	53.0	36		1:1.70	8	-	-	6+6	COXON et al. 1976	199
KARMANOVSK	SU	1971	R		33			15	-	5	5		133
KESSENHAMMER	D	1964	R	18.0	4	310	1:2.00	3	-	6	5+5		63
KINDARUMA	EAK	1967	D	28.0	15	785	1:1.70	6	4	8	5+5		85
KINZIG-GROSSE	D	1978	D	14.0	20	171	1:2.00	10 ÷ 6	-	-	8		
KIRCHHEIM	D	1979	D		5								
KRONENBURG	D	1975	D	20.0	13	492	1:1.75	3	-	-	6	STEFFEN 1976	166
KRUTH-WILDENSTEIN	F	1964	D	38.0	13	549	1:1.50	15*	-	15	3.5+3.5	CFGB 1979	62
L'EAU D'HEURE	B	1976	D	25.0	9		1:1.75		6		6	HAUG 1979	
LÄNGENTAL	A	1979	D	42.0	16		1:1.60		-	-	8	HAUG 1979	
LA MUELA	E	1987	R	22.2	887	835	1:1.60	6			7	NAVALON et al. 1988	
LA PEREZA	YV	1967	D	60.0		1070	1:1.70	5	-	-	5+5+6+6		
LAGO PIGNOLA	I	1981	D	9.2	3	771	1:2.00	10	-	-	8		
LAMPEGGIANO	I	1992	D	33.4	23	247	1:(2 ÷ 2.25)	7	5	8	5+5		
LANGENPROZELTEN L.	D	1974	R	30.0	58	238	1:2.00	6	-	-	5	STEFFEN 1976	161
LANGENPROZELTEN U.	D	1992	Rr	20.0		45	1:1.75				7		
LANGENPROZELTEN R.	D	1974	R	6.0	11	187	1:3.00	4	-	-	5	STEFFEN 1976	163
LAS YEGUAS I	E	1992	D	19.0	4		1:1.80		-	-	6	FERNANDEZ MADRID et al. 1994	

NAME / NOM	CN	Y	D/R	H	S	EL	SL	BN	II	DR	I	REFERENCES	N
LAS YEGUAS II	E	1992	D	19.0	5		1:1.80		-	-	6		
LATSCHAU II	A	1973	R	50.0	180	992	1:1.70	10	-	6	8	INNERHOFER 1973, WALOB. 1994	151
LAUREL CREEK	USA	1972	R	41.0	11		1:1.75				20 ÷ 25		138
LEAMINGTON	UK	1961	R				1:3.00	-	-	-	5		52
LEGADADI	ETH	1970	D	22.0	11		1:1.50	15	-	3	6+6		115
LEITZACH	D	1983	Rr		190								
LENTINI	I	1990	R	32.0	385	37	1:1.80	10	6	8	8		
LES ESSERTS	CH	1973	R	29.0	13	1517	1:1.75	5*	-	-	7	SERRANO 1982	144
LICHEYU	TJ	1977	D	57.0	12	761	1:1.75	5	-	5	5+5	JUSTO 1990, YANG et al. 1988	
LICHTENBERG	D	1975	D	46.0	19	497	1:2.00	8	4	10	4+4		
LIGONCHIO	I	1967	R	21.0	25	930	1:2.50	10	-	-	5+4		92
LINTHAL	CH	1964	R	11.0	19	677	1:2.00	-	-	-	8 4+4 3+3	SCLD 1988	73
LOS ALFILORIOS	E		D									CASTILLO R., et al. 1976	
LOSHEIM	D	1973	D		9								
LOUKOML	SU	1970	R		30		1:2.00	15	-	5	5		120
LUDINGTON	USA	1972	R	40.0	600		1:2.50	45*	-	5	5+5	EHASZ 1982, USCOLD 1988	141
MACCHIONI	I	1993	D	22.0	5	468	1:2.10	8	5	8	4+4		

MACKENZIE	AUS	1972	D	15.0														170
MAGOS	P	1937	D	27.0	9		1:2.50											5
MAGOSAWA	J	1970	Dr	15.8	8	69	1:3.00											89
MANZANARES EL REAL	E	1969	D	29.0	23		1:2.00						5	8	5+5	MATSUMOTO et al. 1985		102
MARBACH - HAUNE	D	1987	D	15.0	5		1:1.75						3	5	5+6			
MARCHLYN	UK	1979	D	70.0	50	633							25	-	8			
MARHTRENK	A	1978	R	12.0	113		1:2.00						6	-	8	PENMAN et al. 1984		
MARIENTAL	D	1961	R	32.0	40	1139	1:1.50							-	7			
MARKERSBACH	D	1979	D	54.0	23	564	1:1.70						6	-	5+5			48
MARKERSBACH					120		1:2.00						8	4	4+4			
MARKERSBACH	D	1979	R	18.0	330	848							10	-	4+4			
MARSICONUOVO	I	1992	D	65.8	57	792	1:1.70						9	6	10			
MARTIN GONZALO	E	1989	D	55.0	15		1:1.50							-	8	FLEMME et al. 1990		
MATLA	ZA	1976	R															
MATTSAND	CH	1958	R	9.5	37	1232	1:2.00						12*	-	3+3			41
MAURIAC	F	1989	D	20.0	6	640	1:1.70						-	5	GM	CLERIN et al. 1991		
MEDAU ZIRIMILIS	I	1987	D	53.0	39	151	1:2.00						8	6	8			
MENTA	I	1997	D	90.0	36	1431	1:1.80						6	5	8	BELLONI et al. 1988, BELLONI et al. 1991		
MERREDIN	A	1969	R	7.6	27		1:3.00						-	-	2.5+2.5	LINDSAY 1971		

NAME / NOM	CN	Y	DIR	H	S	EL	SL	BN	II	DR	I	REFERENCES	N
MIYAMA	J	1973	D	75.2	45	757	1:1.90	3.5	6	8	6+6	HASEGAWA et al. 1988, NOSE 1979	143
MONNES	F	1981	D	57.0	60	705		8	-	-	6+6 15+6		
MONTANA DE TACO	E		R	30.5	138	265	1:1.75	-	6	12+6	6		181
MONTANA GORDA	E		R	28.0	159	545	1:1.75						182
MONTANA MOLINA	E		R	29.0	149	355	1:2.00						183
MONTANEIOS													
MONTE COTUGNO (SINNI)	I	1983	D	70.0	215	258	1:2.00	7	5	10	4+4	ITCOLD 1988, CLAPS	
MONTGOMERY	USA	1957	D	34.0	22	3300	1:1.70	3 ÷ 7	-	-	10+9 +7.5	GLIDDEN 1958, SCHEIDENHELM et al. 1960, USBR, USCOLD 88	31
MORAVKA	CS	1966	D	38.0	25		1:1.75	10	-	-	4+4		78
MORNOS (PYRNOS)	GR	1977	VF	79.0	290	45	1:2.00	7	-	-	6+6	EFRIMIDIS et al. 1979	
MORRO	USA	1970	R			252	1:2.00	5	-	10	5+5	CAVALLIN 1988	
MOSUL	IRQ	1985	R		100		1:1.85						
MOTEC	CH	1958	R	11.0	14	1562	1:1.80	12*	-	-	3+3	ROBERT 1959	40
MUAISIM	AS	1988	R	21.0	50	450	1:(2 ÷ 4)	40*	-	-	6+6		
MUCONE	I	1967	D	7.0	72#	175	1:2.00	15	-	-	4+4		
MULUNGUSHI	Z	1923	D	46.0			1:2.00				10 ÷ 15	JUSTO 1990, LEGGE 1970	
NAGOLD	D	1967	D	30.0	8	552	1:2.00	6	4	7	4+4	STEFFEN 1976	86

NEGRATIN	E	1985	D	75.0	20	645	1:1.60	-	6	9	5	DELGADO G. 1988. MOPU 1988	174
NIDDA	D	1970	D	35.0	18		1:1.60	4	-	3.5	4.5+4.5	SCHETELIG et al. 1976	118
NICHU	J	1973	D										
NINOKURA	J	1971	D	37.0	7	281	1:2.00	-	5	10	4+4	NOSE 1979	123
					140			8			5+5		
NUMAPPARA	J	1973	R	38.0	57	1240	1:2.50	5	4	8	4+4		149
OAKFLATS	AUS	1918	R	11.0	8.3	97	1:2.00		5	5	5		-
					3.5								
OBERNAU	D	1971	D	69.0	28		1:1.95	6	4	10	4.5+4.5		126
OGLIASTRO	I	1970	R	21/22	87	140	1:2.00	8	-	-	6	BALDOVIN et al. 1973. BERTI 1971	
OHRA	D	1966	D	59.0	22		1:2.00	5	4	10	4+4		79
OLIVO	I	1983	D	49.5	35	454	1:2.00	7	5	10	6+8		
OSCHENIK	A	1978	D	81.0	46	2391	1:1.50	8 ÷ 10	-	-	8	KIESSLING. TSCHERNUTTER 1988. WALO B. 1994	168
OTSUMATA	J	1968	D	52.0	11	972	1:1.70	7	5	8	5+5		97
OUED SARNO	DZ	1952	D	28.0	11	427	1:2.00	10	-	-	4+4		14
OUTARDES 2													
PALISADES	USA	1963	D	44.5							7.5		
					9								
PALLAZUIT	CH	1958	R	20.0	10	1329	1:2.00	12*	-	-	4+4		39
PAPPADAI	I	1993	D	27.0	29	112	1:2.00	7	5	8	5+5		
PEDU	MAL	1969	D	60.0	16		1:1.70	5 ÷ 7.5	-	-	5+5	COXON et al. 1976	108

NAME / NOM	CN	Y	D/R	H	S	EL	SL	BN	II	DR	I	REFERENCES	N
PERLENBACH	D	1993	Dr	18.0	1		1:1.75		-	-	8		
PIANO D. ROCCA	I		D	53.0	37	125	1:2.00	5	5	8	5+5		
PIANO DI PECCIA	CH	1955	R	11.0	10	1033	1:1.50	-	-	-	4+4	SCLD 1988	24
PLA DE SOULCEM	F	1983	D	67.0	28	1582	1:1.85	10	-	-	6+6	CARRERE et al. 1982.CFGB 1979 - CFGB 1982- CFGB 1988	
PLAN D'AREM	F	1969	D	14.0	6	205	1:2.50	12	-	-	3.5+3.5		109
PONTE LISCIONE	I	1970	D	60.0	43	131	1:2.00	6	6	10	6+6		116
					85			8	5	10			
PORABKA ZAR	PL	1978	R	40.0	58	700	1:2.00	5	4	12	7		
PORABKA ZAR	PL		Rr										
POZA HONDA	EC	1971	D	39.3	24	114	1:2.50	4	5	8	5+5	LEHNERT et al.	121
					12						9		
PRADELLA	CH	1993	R	12.0	21		1:1.70	6	-	-	8	BALISSAT et al. 1992	
PRESENZANO	I	1987	R	20.0	764#	159	1:2.00	10	-	-	8	BELLOTTI et al. 1982	
PRIMS	D	1980	D	62.0	26	455	1:1.75					SCHENK 1988. WEINHOLD et al. 1988	
PUCKING	A	1982	R	15.0	180		1:1.50		-	-	7		
RADOINA	YU	1959	D	42.0	6	815	1:0.74	15*	-	-	4.5+4.5	VERCON et al. 1961	42
RATSCHER	D	1983	D	14.0	24	395	1:2.50	8	-	-	8		
REDISOLE	I		D	41.0	8	1387	1:1.50	-	5	10	4+3		
REFTINSK	SU	1971	R		15		1:2.00	15	-	5	5		130

REISACH-RABENLEITHE	D	1953	R	16.0	30	587	1:2.00	20*	-	4+5	6	HAAAS et al. 1988, HAUG et al. 1985	17
REISACH-RABENLEITHE	D	1994	Rr	16.0	44	587	1:2.00	-	-	-	8	DRESSLER 1995	
					73		1:x				8		
REVIN	F	1973	R	24.5	242#	409	1:3.00	8	-	-	3.5+5.5	CFGB '88, PERRIOLAT et al. '89, PONSY et al. '73, PONSY '72	147
RHEINAUE	D	1977	R	3.0	-	55	1:1.50	4	-	-	6	SCHONIAN 1981	
					136		1:x+1.5						
RIFA	A	1969	R	14.0	33	1001	1:1.70	-	-	6	4+4	INNERHOFER 1973	111
					57								
RIO CARLINO	I	1962	R	9.0	10	1853	1:2.00	10÷15	-	-	4+3		53
					10								
RIO COBO	E	1979	D	34.0			1:1.65					ALONSO F. et al. 1988	
RIO LENI	I	1982	D	56.3	63	253	1:2.10	8	6	10	5+5		
RIPASPACCATA	I		R	13.0	18#	249	1:2.00	15	-	-	5+5		
RIVER TOWY	UK	1971	R	9.0	10	131	1:2.00	10	-	6	6	STEFFEN 1976	128
					14								
RIVERIS	D	1956	D	45.0	12		1:2.00	6	4	8+6	4+4		22
ROADFORD	UK	1989	D	41.0	25	126	1:2.25	30	-	-	7+8	DUNCANSON et al. 1988, TEDD et al. 1991, EVANS et al. 1994	
RODI FIESSO	CH	1939	R	6.5	8	946	1:1.50	-	-	-	6		9
RÖNKHAUSEN	D	1967	D	26.0	9	308	1:1.80	5	-	-	7	STEFFEN 1976	84

NAME / NOM	CN	Y	D/R	H	S	EL	SL	BN	II	DR	I	REFERENCES	N
RÖNKHAUSEN	D	1967	R	18.0	35	572	1:1.80	3	-	-	6	STEFFEN 1976	91
					70								
ROSSWIESE	A	1958	R	22.0	16	1196	1:1.75	6	-	-	4.5+4.5		36
				8	8								
RY DE ROME	B	1970	D	27.5	8		1:1.75	5	6	8	6+6		117
S. MARIA AL LAGO	I	1955	D	18.0	8	2056	1:2.00	5*	-	12*	5+5	CARUSO et al. 1957	20
SA FORADA	I	1962	D	27.0	9	190	1:1.40	15*	-	-	5+5+4		
SAETTA	I	1987	D	23.2	7	955	1:3.00	8	5	8	8		
SAFIEN	CH	1956	R		20								
				12.0	19	1296	1:2.00	12*	-	-	3+3		29
SAHLBODEN	CH	1955	R	5.0	1	1137	1:2.50	-	-	-	4+4		23
SAINT JEAN DU GARD	F		D									CFGB 1979	
SAINT PAUL LA COSTE	F		D									CFGB 1982	
SALAGOU	F	1969	D	57.0	19	145	1:1.50	-	-	10	6+6		101
SALLENTE	E	1985	D	89.0	21	1770	1:1.75	-	-	28	8 ÷ 10	ALONSO F. et al 1988, SERRANO 1982.	
SALTO DE AGUAYO	E	1981	R	37.0	126	1161	1:1.75	-	-	-	8	ALONSO F. et al 1988, WALO B. 1994	
SAN PIERO IN CAMPO	I		D	30.0	6	535	1:2.00	6	-	10	5+5		
SANTILLANA II	E	1969	D	40.0	40	897	1:1.75	3.5	6	9	10		104
SARCONI	I	1984	R		37								
				10.0	70		1:3.00	20	-	10	6		

SAWTELLE	USA	1929	D						1:2.00						7.5						1																					
SCHEVELINGER	D	1993	Dr	15.0	3				1:1.75																																	
SCHÖMBACH	D	1971	D	14.0	30	202	8	4	1:2.50	8	4	8	4+4								125																					
SCHÖMBACH	D	1994	Dr	14.0	21	202			1:2.50																																	
SCHÖNBRUNN	D	1966	D	66.0	22	545	8	4	1:2.00	8	4	10	4+4																													
SCHWARZACH	A	1958	R	34.0	35	740	60		1:1.75	60											38																					
					40																																					
SCOTTS PEAK	AUS	1973	D	41.0	25	311			1:1.70												171																					
SELLERO	I	1973	R	14.3	82	386	30		1:2.00	30											148																					
					41																																					
SENECA (UPPER KINZUA)	USA	1968	R	22.0	111	634			1:2.00												99																					
SHARAYA	AS	1984	R	22.0	60				1:1.80	40*																																
SHIBIANYU	TJ	1978	D	85	40	747	12		1:2.25	12																																
SHIN-KOYAMA	J	1971	R	33	34	845	8		1:1.80	8																																
SHOTTON	UK	1956	R	4.5	24				1:2.50													30																				
SIBERIE	SU	1959	R		70		15		1:4.00	15												46																				
SIGALDA	IS	1975	D	38.0	53		7		1:1.80	7																																
SILBERGRUND	D	1964	D	12.0	2		5	3+3	1:1.70	5	3+3	10	5									66																				

NAME / NOM	CN	Y	D/R	H	S	EL	SL	BN	II	DR	I	REFERENCES	N
SOBRANTE CLEARWELL	USA	1964	D	8.5							10		
SREDNE-OURALSK	SU	1971	R		28		1:2.00	15	-	5	5		131
Ste CECILE D'ANDORGE	F	1967	D	45.0	8	267	1:1.70	10	-	-	6+6		82
Ste CECILE D'ANDORGE	F	1995	Dr	45.0	7	267	1:1.70	-	-	-		HERMENT 1996	
STANOVICE	CS	1976	D	58.0	18			8	4+4	8	4+4		
STEINBACH	D	1964	R	42.0	16	469	1:1.75	5	4	7	4+4	STEFFEN 1976	64
STEINBACH	D	1990	Dr		9	461	1:2.40	-	-	-	5+7		64
STRAUSSFURT	D	1994	Dr	8.0	20		1:2.00		-	-	10		
SULBY	UK	1982	D	68.0~	11	185	1:1.75	10	-	-	8	WALOB. 1994	
SWAZY	USA	1978	R	15.2	21		1:1+2				8	NN 1978	
TALVERA	I	1959	R	5.0	32 #	1222	1:1.75	20*		4	3.5+3.5		44
TATARAGI	J	1973	D	64.5	33	233	1:1.80	4	5	8	6+6	DAICHO 1988	142
TAUM-SAUK	USA	1963	R	33.0	158	485	1:3.00	-	-	-	5+5		60
TERMINAL	USA	1980	D	18.9			1:1.70				13		
THORNLEIGH	AUS	1971	R	14.3	19.6 22.1	190	1:1.70		5	5	5		-
TIAN HUANGPING	TJ	1997	R	45.0	182 104	908	1:2.00	10			10		
TIERFEHD	CH	1962	R	8.0	12 32	813	1:2.00	8			4+4 3+3	SCLD 1988	56

TRAPAN	F	1967	D	24.0	7	52	1:2.50	10	-	-	5+5		83
TROGOREDEC	F	1977	D	14.0	9	186	1:2.50	45*	-	7	6+6		
TURAWA	D	1937	D	13.0	8		1:3.00	-	-	-	5	STEFFEN 1976	6
TURLOUGH HILL	IRL	1973	R	26.0	67	6	1:1.75	10	3÷6	6			
								20*	3÷5	5		152	
TYRONE	USA	1986	D	16.0			1:2.00	7.5	-	-	7.5		
ULMBACH	D	1965	D	19.0	7		1:1.80	7	-	-	4+4		74
ULMBACH	D	1990	Dr	19.0	7		1:1.80	-	-	-	7	BALZEREIT et al. 1991	74
UPPER BLUE RIVER	USA	1966	D	22.0	6	3585	1:1.70	-	-	-	8+8+9	USBR	80
VAL D'AMBRA	CH	1965	D	32.0	23	605	1:1.50	5	-	-	3+3+3		75
								20*	4	3.5+3.5			
VALDURNA	I	1959	R	6.5	12 #	1203	1:1.75	20*	-	4	3+3		43
VALE DO GAIO													
VALEA DE PESTI	RO	1972	D	55.0	15		1:1.70	4.5	-	3	2+2		136
VALLON DOL	F	1972	D	48.0	14	255	1:2.00	10	-	-	6+6		134
VALLON DOL	F	1972	R	46.0	66	258	1:3.00	10	-	-	6+6		139
								114					
VALMAYOR	E		D	60.0	50	834	1:1.75	3÷7	6	9+ 2÷5	7+6		172
VAN BACH	ZA	1971	D	35.0									
VENEMO	N	1963	D	51.0	12	706	1:1.70	10	-	-	6+6+6	JUSTO et al. 1973, KJARNSLI et al.	57
VERNEY	F	1984	D	42.0	45	772	1:2.00	10	-	-	6+6	CFGB 1982	

NAME / NOM	CN	Y	DIR	H	S	EL	SL	BN	II	DR	I	REFERENCES	N
VIANDEN I	L	1962	R	19.0	75		1:1.75	9	-	3	7		55
					147			3		6			
VIANDEN II	L	1963	R	19.0	96		1:1.75	9	-	3	7		58
					195			3		6			
VILLANUOVA	I	1961	R	12.0			1:2.00	6	-	-	4		51
VILLARINO	E	1968	D	23.0	8		1:1.75	-	4	6	7		94
VILLINGADALUR	DK	1986	D	15.0	8	274	1:1.75	15	-	-	8+5		
					9	8 ÷ 14	-	-	-				
VISOIE	CH	1959	R	9.0	6	1121	1:1.50	20	-	-	4+4		45
VONBACH	NA	1971	D										
VRLA II													
WAHNBACH	D	1956	D	48.0	25		1:1.60		4		5	JAPPELLI 1956, STEFFEN 1976	26
WALDECK I	D	1979	Rr	15.0	36#	506	1:3.00	3	-	-	7	BALZEREIT 1980	
					121								
WALDECK II	D	1973	R	25.0	200		1:1.75	6	-	-	7	STEFFEN 1976	150
					20	15*							
WANNA	CH	1956	R	14.0	25	1721	1:2.00	20*	-	-	3+3		25
WEHEBACH	D	1979	D	49.0	24	255	1:1.60	5	5	8	8	WALO B. 1994	
WEHRA	D	1974	D	40.0	16	421	1:1.75	6	-	-	8		157
WEILRBACH	D	1974	D	20.0	8	443	1:1.90	6	-	-	8.5 ÷ 10.5		158
WINSAR	UK	1975	D	53.0	26	344	1:1.70	7	-	-	4+8	COLLINS et al. 1974, ROUTH 1988	

WURTENALM	A	1971	D	40.0	13	1699	1 : 1.65	8 ÷ 10	-	-	7 ÷ 11	KIESSLING, TSCHERNUTTER 1988	127
YASHIO	J	1992	D	90.5	37	1053	1 : 2.00	4	6	8	5 + 5 + 5	ISHI et al. 1988	
ZARNOWIEC	PL	1983	R	17.0	200			-			7 + 7		
ZERMEIGGERN	CH	1964	R	14.0	18	1739	1 : 2.75	10 ÷ 15	-	-	7		
ZIRMSEE	A	1983	D	44.0	14	2530	1 : 2.50	6*	-	-	4 + 4	TSCHERNUTTER 1988	69
ZOCCOLO	I	1964	D	66.5	41	1144	1 : 1.50	13	-	-	8 ÷ 12	CHIARI 1964, CROCE et al. 1979, HASEGAWA et al. 1988	65
							1 : 2.00	8 ÷ 9	-	-	5 + 4 + 4		

ANNEXE 3

RÉFÉRENCES

PRINCIPALES QUESTIONS (Q) DE CONGRÈS DE LA CIGB, CONCERNANT LES BARRAGES EN REMBLAI AVEC MASQUE EN BÉTON BITUMINEUX

Rome	1961	VII	Q 27	Étanchement des barrages en terre et enrochement par des produits bitumineux et autres matières
Edimbourg	1964	VIII	Q 31	Étude, méthodes d'exécution et comportement des grands barrages en enrochement (de plus de 80 m ou d'environ 80 m de hauteur)
Istamboul	1967	IX	Q 34	Comportement et détérioration des barrages
Montréal	1970	X	Q 36	Progrès récents dans l'étude et la construction des barrages en terre et en enrochement
Madrid	1973	XI	Q 42	Dispositif d'étanchéité et protection des talus des barrages en terre et des barrages en enrochement
Mexico	1976	XII	Q 44	Problèmes posés par les barrages en remblai de type spécial
New Delhi	1979	XIII	Q 48	Problèmes de raccordement dans les barrages
Rio de Janeiro	1982	XIV	Q 55	Matériaux et méthodes de construction des barrages et batardeaux en remblai
Lausanne	1985	XV	Q 59	Mesures pour renforcer la sécurité des barrages en service
San Francisco	1988	XVI	Q 61	Barrages en remblai : organes d'étanchéité autres que les noyaux en terre
Vienne	1991	XVII	Q 65	Vieillessement des barrages et méthodes de réparation
			Q 67	Progrès récents concernant les barrages et batardeaux en remblai
Durban	1994	XVIII	Q 68	Évaluation et renforcement de la sécurité des barrages en service
			Q 69	Retenues en exploitation : expérience dans le domaine de l'environnement
			Q 70	Construction par étapes, surélévation ou modification de barrages

APPENDIX 3

REFERENCES

MAIN QUESTIONS (Q) OF ICOLD CONGRESSES, RELATED TO BITUMINOUS CONCRETE FACINGS ON EARTH AND ROCKFILL DAMS.

Rome	1961	VII	Q 27	Sealing of earth and rockfill dams with bitumen and other materials
Edinburgh	1964	VIII	Q 31	Design, methods of construction and performance of high rockfill dams (above or about 80 m)
Istanbul	1967	IX	Q 34	The behaviour and deterioration of dams
Montreal	1970	X	Q 36	Recent developments in the design and construction of earth and rockfill dams
Madrid	1973	XI	Q 42	Impervious elements and slope protection on earth and rockfill dams
Mexico City	1976	XII	Q 44	Problems associated with special types of fill dams
New Delhi	1979	XIII	Q 48	Interface problems of dams
Rio de Janeiro	1982	XIV	Q 55	Materials and construction methods for embankment dams and cofferdams
Lausanne	1985	XV	Q 59	Rehabilitation of dams to ensure safety
San Francisco	1988	XVI	Q 61	Embankment dams: impervious elements other than clay cores
Vienna	1991	XVII	Q 65	Ageing of dams and remedial measures
			Q 67	New developments for fill dams and fill cofferdams
Durban	1994	XVIII	Q68	Safety assessment and improvement of existing dams
			Q69	Environmental experience gained from reservoirs in operation
			Q70	Staged construction, heightening or modification of dams

CLASSIFICATION OF PAPERS / CLASSIFICATION DES ARTICLES

G1	<p><u>State of the art</u>, treatises, general approach, syntheses, historical information, reviews/ <i>Technique actuelle, traités, approche générale, synthèse, information historique, comptes rendus</i></p> <p>ALONSO FRANCO & SORIANO PEÑA, 1988 – BIGALLI et al., 1980 – CFGB, 1961 – CFGB, 1973 – CALLARI, 1993 – CHARLES & PENMAN, 1988 – CREEGAN & MONISMITH, 1996 – DGGT/DGEG, 1983 – DVWK, 1992 – JAPPELLI et al., 1988 – ICOLD, 1982 – ITCOLD, 1978 – JAPPELLI, 1996 – JUSTO & SAURA, 1973 – JUSTO, 1990 – KOENIG & IDEL, 1988 – KRAMER, 1988 – LEHNERT & GEISELER, 1979 – PENMAN, 1985 – SCHOBBER, 1988 – STRABAG, 1996 – TASMANIA, – Van ASBECK, 1961 – Van ASBECK, 1964</p>
G2	<p><u>Reports on design and construction trends, performance, operation, accounting for experience gained with reference to groups of embankment dams (D) or reservoirs (R) under regional conditions.</u> / <i>Rapports sur les tendances de conception et de construction, le comportement, l'exploitation, basés sur les expériences concernant des barrages en remblai (D) ou des retenues (R) dans des conditions régionales.</i></p> <p>ALONSO FRANCO & SORIANO PEÑA, 1988 – BELBACHIR et al., 1973 – CFGB, 1979 – CFGB, 1982a – CFGB, 1982b – CFGB, 1982c – CFGB, 1988 – CASTILLO RUBIO & NAVALON GARCIA, 1976 – CHARLES & PENMAN, 1988 – CROCE & DOLCETTA, 1970 – CROCE et al., 1964 – DUNCANSON & JOHNSTON, 1988 – FABIAN & DITTER, 1988 – ITCOLD, 1988 – JAPPELLI, 1956 – KOBILKA & GRASSINGER, 1982 – MOPU, 1988 – NOSE, 1979 – SCLD, 1988 – STEFFEN, 1976 – TSCHERNUTTER, 1988 – Van ASBECK, 1964 – WALO BERTSCHINGER, AG, 1994 – YANG et al., 1988</p>
G3	<p><u>Case studies of design, construction and/or operation and repairs cases are identified by the name of structure and by location</u> / <i>Études de cas; les exemples de projet, de construction et/ou de fonctionnement, et les exemples de réparations sont identifiés par le nom de l'ouvrage et son emplacement.</i></p> <p>BELLONI, et al., 1988 – CARUSO & PANCINI, 1957 – CASTAGNETTA, 1972 – CAVALLIN, 1988 – CHIARI, 1964 – CLAPS, 1976 – DAICHO, 1988 – DGGT/DGEG, 1983 – EHASZ, 1982 – FERRARI, 1965 – GEREN, 1952 – HASEGAWA & KIKUSAWA, 1988 – HAUG et al., 1988 – HAUG & REICHENBACH, 1987 – HERMENT & JENSEN, 1996 – HOFFMANN & BALZEREIT, 1983 – ISHI & KAMIJO, 1988 – JAPPELLI et al., 1988 – FITZPATRICK, 1976 – MALQUORI, – MATSUMOTO et al., 1985 – NAVALON & GAZTAÑAGA, 1988 – PENMAN & HUSSAIN, 1984 – ROUTH, 1988 – SCHEIDENHELM et al. 1960 – SCHENK, 1976 – SCHENK, 1988 – SCHETELIG & BRETH, 1976 – SCHEWE, 1997 – SERRANO, 1982a – SERRANO, 1982b – SILVESTRI, 1963 – SMITH et al., 1988 – USCOLD, 1988 – TANAKA & NAKANA, R. 1976 – TEDD et al., 1991 – VASQUEZ et al., 1988 – WEINHOLD & HAUG, 1988 – TASMANIA, – WILSON & ROBERTSHAW, 1998</p>
G4	<p><u>Specific subjects of special interest for design, construction, supervision, operation and repair</u> / <i>Sujets spécifiques jugés particulièrement intéressants quant à la conception, à la construction, à la surveillance, à l'exploitation et aux réparations.</i></p> <p>ALONSO FRANCO & SORIANO PEÑA, 1988 – BELLONI et al., 1991 – BELLOTTI & PUCCIO, 1982 – BLINDE, et al., 1985 – BRAUNS et al. 1988 – COXON & CROOK, 1976 – GRABOWSKI & PISARCZYK, 1979 – GRASSINGER, 1979 – HAUG & DITTER, 1982 – ICOLD, 1981 – JUSTO, 1973 – MORI & PINTO, 1988 – TANAKA & NAKANA, 1976</p>

- AGOSTINI, R., CESARIO, L. (1984) – “ *Sand asphaltic mastic grouted mattresses for impermeable revetments* ”, Proc. Conference Materials for Dams 84, Monte Carlo (I).
- ALONSO FRANCO, M., SORIANO PEÑA, A., (1988) – “ *Plinths in dams with watertight facing. Design, construction and performance* ”, XVI ICOLD, San Francisco, Q. 61, R. 48, pp. 871-900 (E/G4).
Key words : Analysis; Recommendations; Plinth; Performance; Damage.
- ANIDEL, (1961) – “ *Dams for hydroelectric power in Italy* ”, Milano (I/G2).
- BACCINI, S., VISENTINI, G., BALDOVIN, G., GHIRARDINI, A. (1985) – “ *Impervious lining for Castreccioni Reservoir on the Musone river* ”, XV ICOLD, Lausanne, Q. 58, pp. 1349-1357 (I).
- BALDOVIN, G., GHIRARDINI, A. (1973) – “ *Ogliastro Reservoir peripheral rockfill dam, with 90 000 m² upstream bituminous membrane* ”, XI ICOLD, Madrid, Q. 42, pp. 923-951, OGLIASTRO (I).
- BALISSAT, M., BROGLI, R., BRUMAN, O., RAZ, Ch. (1992) – “ *Der Ausbau Pradella – von der Aussenanlage des Bauloses I* ”, Wasser, energie, luft-cu, énergie, air 84 (1992) 10, pp. 256-263.
- BALZEREIT, U. (1980) – “ *Bituminöse Dichtungsarbeiten zur Oberbecken-sanierung im Pumpspeicherwerk Waldeck I* ”, Teerbau Veröffentlichungen 27, pp. 119-125.
- BALZEREIT, U., HUTH, P., ANDERS, R. (1991) – “ *Erneuerung der Asphaltaussendichtung des Staudammes der Ulmbachtalsperre* ”, Teerbau Veröffentlichungen 37, pp. 129-135.
- BAUDOIN, B. (1981) – “ *Essai de comportement au vieillissement des enrobés à base de brai-vinyle* ”, Compte rendu de la réunion Travaux 1981 d'Electricité de France (D.E.) (F).
- BELBACHIR, K., MONTEL, B., CHERVIER, L. (1973) – “ *Comportement des masques d'étanchéité en béton bitumineux des barrages du Secrétariat d'État à l'Hydraulique Algérien* ”, XI Madrid, Q. 42, R. 51, pp. 1053-1073. (DZ/G2), EL GHRIB, BOU HANIFIA, OUED SARNO.
Key words: Performance, Repair.
- BELLONI, L., ULISSE, C., VALENTI, D. (1988) – “ *Behaviour of an asphalt membrane under seismic loading* ”, XVI ICOLD, San Francisco, Q. 61, R. 56, pp. 1053-1073. MENTA (I/G3).
Key words : Analysis; Design; Dynamic; Model.
- BELLONI, L., D'ANTONA, M., GALLICO, A., TANZINI, M. (1991) – “ *Menta dam : dynamic behaviour of the upstream bituminous facing in a narrow valley* ”, XVII ICOLD , Vienna, Q. 67, R. 17, pp. 285-297, MENTA (I/G4).
Key words : Rock-like; Rockfill; Type B; Gallery.
- BELLOTTI, R., PUCCIO, M., (1982) – “ *Experimental research for the use of some new materials on fill dams* ”, XIV ICOLD , Rio de Janeiro, Q. 55, R. 48, pp. 809-829, EDOLO, PRESENZANO (I/G4).
Key words : Specification; Facing.

- BERTI, P. (1971) – “ *Il serbatoio di Ogliastro* ”, L'Energia Elettrica, 9, OGLIASTRO (I).
- BIGALLI, F., DOLCIMASCOLO, F., JAPPELLI, R., PEZZINI, R., TOTI, M., VALORE, C. (1980) – “ *Dighe in Sicilia* ” (I/G1).
Key words : General.
- BLINDE, J., KIENZLE, G., BLINDE, A. (1985) – “ *Corrosion resistance and durability of asphalt concrete seals* ”, XV ICOLD , Lausanne, Q. 58, R. 3, pp. 39-48 (G4).
Key words : Chemicals; Permeability.
- BOBBE, A., GRÖGER, M. (1995) – “ *Instandsetzung der Asphaltbetonaussendichtung an der Talsperre Schömbach in Sachsen/Thüringen* ”, Bitumen 3/95, pp. 103-108.
- BRAUNS, J., DEGEN, F.P., ARMBRUSTER, H. (1988) – “ *The leakage problem with dam seals* ”, XVI ICOLD, San Francisco, Q. 61, R. 8, pp. 125-140 (D/G4).
Key words : Analysis; Model; Recommendations; Seepage.
- CFGB (1961) – “ *Problèmes posés par les revêtements d'étanchéité en béton de ciment ou béton bitumineux des barrages en enrochements* ”, VII ICOLD, Rome, Q. 27, R. 103 (F/G1).
Key words: Performance.
- CFGB (1973) – “ *L'expérience française des masques amont en béton bitumineux* ”, XI ICOLD, Madrid Q. 42, R. 7, pp. 101-124 (F).
- CFGB (1973) – “ *Revêtements en matériaux nouveaux. État des recherches et premières réalisations françaises* ”, XI ICOLD, Madrid, Q. 42, R. 27, pp. 457-476 (F/G1).
Key words : Bitumen, Properties.
- CFGB (1979) – “ *Raccordement entre barrage en remblai et ouvrages en béton* ”, XIII ICOLD, New Delhi, Q. 48, R. 16 (F/G2).
Key words : Design.
- CFGB (1979) – “ *Réparations et entretien des barrages entraînés par le vieillissement ou un accident* ”, XIII ICOLD, New Delhi, Q. 49, R. 23, pp. 321-346, KRUTH - WILDENSTEIN (F/G2).
Key words : Depressions; Ageing; Repairs.
- CFGB (1982a) – “ *Organes minces d'étanchéité sur le parement amont ou dans le corps de la digue* ”, XIV ICOLD, Rio de Janeiro, Q. 55, R. 52, pp. 907-933 VERNEY, PLA DE SOULCEM (F/G2).
Key words : Earthfill; Type B; Connection; Placing; Repairs.
- CFGB (1982b) – “ *Adaptation des méthodes de construction et de conception des barrages en remblai aux matériaux disponibles sur le site* ”, XIV ICOLD, Rio de Janeiro, Q. 55, R. 54, pp. 963-988. PLA DE SOULCEM, VERNEY (F/G2).
Key words : Earthfill.
- CFGB (1982c) – “ *Cas de fondations exceptionnelles de barrages* ”, XIV ICOLD, Rio de Janeiro, Q. 53, R. 56, pp. 899-919, VERNEY, PLA DE SOULCEM, S. P. LACOSTE (F/G2).
Key words : Requirements; Soil-like.

- CFGB (1988) – “ *Enseignements tirés de la construction, au cours de ces vingt dernières années, de barrages à masque en enrobés noirs* ”, XVI ICOLD, San Francisco, Q. 61, R. 5, pp. 77-94 (F/G1).
Key words : General; Requirements; Recommendations.
- CALLARI, C. (1993) – “ *Dighe di materiali sciolti con manto di calcestruzzo bituminoso. Analisi della consolidazione* ”, laurea thesis, University of Rome “Tor Vergata” (G1).
Key words : General, Analysis.
- CARRERE, A., COMBELLES, J., FORTIER, G., MONFORT, L. (1982) – “ *Le barrage de Pla de Soulcem* ”, Travaux, Mars, PLA DE SOULCEM.
- CARUSO, B., PANCINI, M. (1957) – “ *La diga di sbarramento secondario in materiali sciolti del serbatoio della Fedaia* ”, Geotecnica 5, MARIA AL LAGO (I/G3).
- CASTAGNETTA, V. (1964) – “ *Rivestimenti bituminosi di dighe e bacini realizzati in Italia* ”, Bollettino Informazione Tecnica, SHELL, 3 (I).
- CASTAGNETTA, V. (1972) – “ *La tecnica dei conglomerati bituminosi* ”, Bollettino Informazione Tecnica, SHELL, 1 (I).
- CASTILLO RUBIO, M., NAVALON GARCIA, N. (1976) – “ *Spanish National Committee on Large Dams* ”, XII ICOLD, Mexico City, G.P. 12, pp. 709-782, EL SIBERIO, LOS ALFILORIOS (E/G2).
Key words : Facing; Type B; Multi.
- CAVALLIN, J. E. (1988) – “ *Hydraulic asphalt concrete for impervious upstream facing : Morro reservoir* ”, XVI ICOLD, San Francisco, Q. 61, R. 32, pp. 599-615 MORRO (USA/G3).
Key words : Soil-like; Multi; Construction; Performance; Leakage; Repairs.
- CAZZUFFI, D., PUCCIO, M., VENESIA, S. (1983) – “ *Étude sur modèle d'un joint en mélange bitume-caoutchouc pour ouvrages hydrauliques* ”, C.R. Colloque sur l'étanchéité des ouvrages hydrauliques. Paris, Vol. 1, pp. 53-58 (I).
- CHARLES, J. A., PENMAN, A.D.M. (1988) – “ *The behaviour of embankment dams with bituminous watertight elements* ”, XVI ICOLD, San Francisco, Q. 61, R. 38, pp. 693-705 (UK/G1).
Key words : Analysis; Performance; Deflections.
- CHIARI, A. (1964) – “ *Criteri di progetto e controlli di costruzione del rivestimento bituminoso della diga di Zoccolo* ”, Geotecnica, 6, pp. 271-277. ZOCCOLO (I/G3).
- CLAPS, G. (1976) – “ *Le strutture di tenuta in fondazione della diga sul Sinni a Monte Cotugno* ”, XIII Convegno Nazionale di Geotecnica, Merano, pp. 87-97, MONTE COTUGNO (I/G3).
- CLERIN, J., GILBERT, C., BIENAIME, C., HERMENT, R. (1991) – “ *A rockfill dam with a bituminous geomembrane upstream facing : Mauriac (Cantal)* ”, Travaux, Mai, MAURIAC.
- COLLINS, P.G.M., HUMPHREYS, J.D. (1974) – “ *Winscar Reservoir* ”, J. Inst. Water Eng., 28, V.1, pp. 17-46, WINSCAR.

- COXON, R.E., CROOK, D.E. (1976) – “ *Some simple approaches to leakage detection in dams* ”, XII ICOLD, Mexico City, Q. 45, R. 30, pp. 527-540, Monitoring; Seepage (G4).
Key words : Monitoring; Seepage.
- CREEGAN, P.J., MONISMITH, C.L. (1996) – “ *Asphalt concrete water barriers for embankment dams* ”, ASCE PRESS (G1).
Key words : General, Synthesis.
- CROCE, A., DOLCETTA, M. (1970) – “ *Behaviour of an earth dam founded on a deep formation of fluvio-glacial soils* ”, X ICOLD, Montreal, Q. 37, pp. 571-590, (I/G2).
Key words : Performance.
- CROCE, A., JAPPELLI, R., SILVESTRI, T. et al. (1964) – “ *Dam measurements in Italy – Earth and Rockfill Dams* ”, VIII ICOLD, Edinburgh, Q. 29, pp. 655-751 (I/G2).
Key words : Performance.
- CROCE, A., MOTTA, A., LINARI, C. (1979) – “ *Deterioration and restoration of the foundation watertightness in the Zoccolo earth dam* ”, XIII ICOLD, New Delhi, Q. 49, R. 41, pp. 619-632, ZOCCOLO (I/G3).
Key words : Analysis; Soil-like; Earthfill; Diaphragm; Grouting; Gallery; Leakage; Performance; Repairs.
- DAICHO, A. (1988) – “ *Design and monitoring of Tataragi Dam* ”, XVI ICOLD, San Francisco, Q. 61, R. 14, pp. 227-249, TATARAGI (J/G3).
Key words : Requirements; Dynamic; Monitoring; Performance.
- DELGADO GARCIA, J. (1988) – “ *The asphalt facing on the rockfill section of the Negratin Dam and its joint with the concrete section* ”, XVI ICOLD, San Francisco, Q. 61, R. 44, pp. 803-814, NEGRATIN (E).
Key words : Type A; Multi; Gallery; Joints; Performance.
- DESMOULINS, G. (1981) – “ *Masque amont des barrages des Monnes et Étang (Montézic) en brai-vinyle* ”, Colloque technique du Comité Français des Grands Barrages, 10.01. ETANG, MONNES.
- DESTENAY, J., LE MAY, Y. (1961) – “ *Les masques d'étanchéité des barrages en enrochements construits par Électricité de France* ”, VII ICOLD, Rome, Q. 27, R. 19 (F).
- DETERS, R., HOFFMANN, H., G. (1975) – “ *Horizontal placing of bituminous linings for reservoirs* ”, Water Power and Dam Construction, Sept., p. 323-325.
- DGGT/DGEG (1983) – “ *Empfehlungen für die Ausführung von Asphaltarbeiten im Wasserbau* ”, Deutsche Gesellschaft für Geotechnik, Essen.
Key words : General; Guidelines; Facing; Lining; Core Wall, Repair; Rehabilitation.
- DITTER, K., HAUG, W. (1989) – “ *Refurbishment of bituminous slope lining on dams and pumped-storage reservoirs* ”, Asphalt Wasserbau 11/a, Teil A, Strabag., pp. 43-48.
- DRESSLER, J. (1995) – “ *Sanierung des Oberbeckens des Pumpspeicherwerks Reisach-Rabenleite* ”, Wasserwirtschaft, Vol. 85, No. 7/8 (1995), pp. 401-404.

- DUVAL, J., LECLERCQ, C. (1984) – “ *Aménagement de Montézic : masque amont de digue* ”, Travaux, Mars, MONTEZIC.
- DUNCANSON, J. K., JOHNSTON, T. A. (1988) – “ *The impervious membranes at Colliford and Roadford reservoirs, in South West England* ”, XVI ICOLD, San Francisco, Q. 61, R. 37, pp. 679-691 (UK/G2) COLLIFORD, ROADFORD.
Key words : Requirements; Earthfill; Joints.
- DVWK (1992) – “ *Merkblätter zur Wasserwirtschaft 223/1992 – Asphalt dichtungen für Talsperren und Speicherbecken* ”, Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin (G1).
Keywords : General, Guidelines.
- ECCLES, P. G., BALZEREIT, U. (1981/82) – “ *Herstellung bituminöser Kemptichtungen in Staudämmen* ”, TEERBAU – Veröffentlichungen, No. 28, pp. 79-90.
Key words : General, Planning, Construction.
- EFRIMIDIS, H., LEHNERT, J. (1979) – “ *Mornos dam, Greece – bituminous lining of karstic slope* ”, Strabag Schriftenreihe 10th, Series 1, pp. 149-164, MORNOS.
- EHASZ, J.L. (1982) – “ *Experience with upstream impermeable membranes* ”, XIV ICOLD, Rio de Janeiro, Q. 55, R. 27 (USA/G3), LUDINGTON.
Key words : Requirements; Earthfill; Performance.
- ENEL (1988) – “ *Le dighe di ritenuta degli impianti idroelettrici italiani* ”, Roma (I).
- EVANS, J. D., WILSON, A. C. (1984) – “ *The asphalt membranes at Colliford and Roadford Reservoirs* ”, The British Dam Society, 8th Conf. Reservoir Safety and the Environment (UK) COLLIFORD, ROADFORD.
- FABIAN, E., DITTER, K. (1988) – “ *Criteria for judgement of the aging behaviour of asphaltic surface linings and their influence on the repair and regeneration of pumped-storage reservoirs* ”, XVI ICOLD, San Francisco, Q. 61, R. 21, pp. 375-397 (D/G2).
Key words : General; Facing; Controls; Performance; Damage; Repairs.
- FEINER, A., FRYSTATZKI, E. (1964) : “ *Das Speicherbecken des Enns-Kraftwerkes Hieflau* ”, Strabag Series 7/1 (1964), pp. 183-193.
- FERNANDEZ-MADRID, J., GIRÓN, F. (1994) : “ *The Laguna de las Yeguas dams – a correction of environmental impact at 2900 a.s.l.* ”, XVIII ICOLD, Durban, Q. 69, R. 18, pp. 241-253.
- FERRARI, M. (1965) – “ *Esecuzione del rivestimento bituminoso di una grande diga (Zoccolo)* ”, Costruzioni, 109, January (I/G3), ZOCCOLO.
Key words : Construction.
- FIEDLER, K., PTASZYNSKIZ, Z., SZYMANSKY, A. (1996) – “ *Repair of asphaltic concrete sealing of upper reservoir of the Porabka – Zar pumped storage plant* ”, European Symposium Stockholm, organised by SWEDCOLD (PL) PORABKA - ZAR.
- FINZI, D., GHIRARDINI, A. (1973) – “ *Impiego di bitumi e miscele bituminose negli impianti della Montedison s.p.a.* ”, March (I).
- FITZPATRICK, M.D. (1976) – “ *Scotts Peak Dam. Cracking of bituminous concrete facing* ”, XII ICOLD, Mexico City, Vol. V, pp. 54-60 (AUS/G3) SCOTTS PEAK.
Key words : Performance.

- FLEMME, W., BAZTAN, J.A., FUNK, E. (1990) – “ *Repairs to the Martin Gonzal Dam* ”, *Water Power & Dam Construction*, No. 42 (1990) 11, pp. 16-20.
- GEISELER, W. D. (1990) – “ *Bituminous sealing fend off chemical attack* ”, *World Water*, April.
- GEREN, J. L. (1952) – “ *Salem improves water supply system with 100 mg asphalt lined reservoir* ”, *Western Construction*, September. SALEM
Key words : Design.
- GLIDDEN, H.K. (1958) – “ *Asphalt facing methods for Montgomery Dam* ”, *World Construction*, Vol. II, 8 (USA) MONTGOMERY.
- GRABOWSKI, Z., PISARCZYK, S. (1979) – “ *Choice of material for filter layers under asphaltic concretes* ”, XIII ICOLD, New Delhi, Q. 48, R. 63, pp. 1121-1129 (PL/G4) PORABKA - ZAR.
Key words : Design; Filter.
- GRASSINGER, H. (1979) – “ *In situ tests on impervious asphaltic concrete layers in earthfill dams* ”, XIII ICOLD, New Delhi, C.I., pp. 1-10 (A/G4) ALTENWORTH.
Key words : Controls.
- GRÖGER, M., KUHLMANN, W. (1994) – “ *Instandsetzung der Asphaltbetondichtung am Oberbecken des Pumpspeicherwerkes Langenprzelten* ”, *Bitumen* 56 (1994) 1, pp. 18-22.
- GSAENGER, A. (1973) – “ *The asphalt sealing membrane of the dam of Lech power plant Prem* ”, XI ICOLD, Madrid, Q. 42, R. 16 (D).
- HAAS, H., HAUG, W., SCHÖNIAN, E. (1988) – “ *Asphalt surface linings on dams with steep slopes in comparison to concrete surface linings* ”, XVI ICOLD, San Francisco, Q. 61, R. 10, pp. 159-176 (D).
Key words : History; General; Requirements; Construction.
- HASEGAWA, T., KIKUSAWA, M. (1988) – “ *Long-term observation of asphaltic concrete facing dam* ”, XVI ICOLD, San Francisco, Q. 61, R. 13, pp. 205-226. (J/G3) MIYAMA.
Key words : Dynamic; Controls; Performance; Deflections; Leakage.
- HAUG, W. (1979) – “ *Ry de Rome - L'Eau d'Heure* ”, *Strabag Series 7/1* (1979), pp. 93-110.
- HAUG, W., DITTER, K. (1982) – “ *Reconstruction of bituminous slope linings of dams and pumped-storage reservoirs* ”, XIV ICOLD, Rio de Janeiro, Q. 55, R. 49, pp. 831-840 (G4)
Key words : Damage; Repairs.
- HAUG, W., DITTER, K., GEISELER, W.D. (1985) – “ *Two examples for regeneration of cement concrete and asphalt concrete linings of water storage reservoirs by means of asphalt concrete* ”, XV ICOLD, Lausanne, Q. 59, R. 33, pp. 527-538 (D/G4). REISACH-RABENLEITE, GEESTHACHT.
Key words : Placing; Damage; Regeneration.
- HAUG, W., REICHENBACH, W. (1987) – “ *Observations of time-dependent changes of the asphaltic concrete sealing of the pumped storage reservoir* ”

- Geesthacht and execution of the regenerating works* ", Wasserwirtschaft, 77, H 6, June. (D/G3), GEESTHACHT.
Key words : Performance; Repairs.
- HAUG, W., ROTHACKER, O. (1979) – “ *Pumpspeicherwerk Coo – Trois Ponts/Belgien* ”, Strabag Series 10/1 (1979), pp. 165-178.
- HAUG, W., DITTER, K., HEIDBRINK, W. (1988) – “ *New placing techniques for asphaltic concrete linings at the Geeste storage reservoir* ”, XVI ICOLD, San Francisco, Q. 61, R. 11, pp. 177-188 (D/G3), GEESTE.
Key words : Reservoir; Specifications; Construction; Control.
- HERMENT, R., JENSEN, A. (1996) – “ *Application of a light – coloured asphalt for the rehabilitation of the facing of a large dam* ”, Swedish National Committee on Large Dams, Stockholm (G3), Ste. CECILE D'ANDORGE
Key words : Rehabilitation, Ageing.
- HERRERAS, J. A. (1973) – “ *The membrane of the Pozo Los Ramos Dam* ”, XI ICOLD, Madrid, Q. 42, R. 48 (E) POZO LOS RAMOS.
- HOFFMANN, H.G., BALZEREIT, U. (1983) – “ *Bituminöse Abdichtung der Talsperre Castello in Sizilien* ”, TEERBAU –Veröffentlichungen No. 29 (1983), pp. 96-105 (G3), CASTELLO.
Key words : General, Planning, Construction.
- ICOLD (1981) – “ *Upstream facing interface with foundation and abutments* ”, Bulletin 39, prepared by LE BEL. G., C.F.G.B. as a Supplement to Bulletin 32, October 1977 (G4).
Key words : General; Plinth; Joints.
- ICOLD (1982) – “ *Bituminous concrete facings for earth and rockfill dams* ”, Bulletin 32 a. (G1).
Key words : General; Requirements; Recommendations; Specifications.
- ITCOLD (1978) – “ *Le strutture bituminose nelle opere idrauliche di ritenuta* ”, Sottocomitato Materiali, December (I/G1).
Key words : Recommendations; Specifications.
- ITCOLD (1988) – “ *Embankment dams with impervious upstream facings : an overview of Italian practice* ”, XVI ICOLD, San Francisco, Q. 61, R. 23, pp. 415-454 (I/G2).
Key words : General; Performance.
- INNERHOFER, G. (1973) – “ *Asphaltic concrete facing of the Rifa, Partenen and Latschau balancing reservoirs* ”, XI ICOLD, Madrid, Q. 42, R. 46 (A) RIFA, LATSCHAU.
- ISHI, K., KAMIJO, M. (1988) – “ *Design for asphaltic concrete facing of Sabigawa upper dam* ”, XVI ICOLD, San Francisco, Q. 61, R. 19, pp. 327-358 (J/G3) SABIGAWA.
Key words : Analysis; Dynamic; Recommendations; Type A; Controls; Performance; Deflections.
- JANCOLD (1994) – Sub-Committee on Materials for Fill Dams “ *Comments on Embankment Dams with Bituminous Concrete Upstream Facing* ”, Preliminary Draft, 1993.

- JAPPELLI, R., FEDERICO F. (1993) – “ *Geotechnical Defects and Remedial Measures* ”, CIAS, Rovinj, Istria, April.
- JAPPELLI, R. (1996) – “ *Costruzioni di materiali sciolti* ”, Manuale di Ingegneria Civile, Cap. IX, ESAC, Roma, pp. 682-732 (I/G1).
Key words : Design, Construction, Recommendations.
- JAPPELLI, R. (1956) – “ *Il Quarto Convegno dell'Associazione Geotecnica Germanica* ”, Geotecnica, 4. (I/G2) GENKEL, WAHNBACH.
Key words : Design, Construction.
- JAPPELLI, R., FEDERICO, F., MARZOCCHI, L., FANTOMA, D., MARIANI, M., MUSSO, A. (1988) – “ *Impervious facing and large central drain for the embankment dams of a pumped-storage plant* ”, XVI ICOLD, San Francisco, Q. 61, R. 25, pp. 465-492 (I/G3), PONTE DIDDINO.
Key words : Design; Construction.
- JAPPELLI, R., MUSSO, A., FEDERICO, F., MARZOCCHI, L., GARBIN, C., MARIANI, M., FANTOMA, A. (1985) – “ *The control of seepage through zoned embankment in the aseismic design of Anapo pumped-storage plant* ”, Draft distributed on the occasion of the Study Tours, Lausanne, ICOLD, Executive Meeting. (I) PONTE DIDDINO - MONTE CAVALLARO.
- JAPPELLI, R., PAPARO FILOMARINO, M., PELLEGRINO, A., RICCIARDI, F., SILVESTRI, T. (1981) – “ *Materiali impiegati per la costruzione di dighe in terra e pietrame in Italia* ”, Quaderno, 2, Sottocomitato Materiali CIGD (I).
- JEANPIERRE, D., BRIEUSEL, J., DESMOULINS, G., FENOUX, G.Y. – “ *Écran d'étanchéité des digues de Montézic en terrain hétérogène. Utilisation de pieux sécants sur la digue de l'Étang* ”, XVI ICOLD, Lausanne, Q. 58, R. 71, pp. 1185-1202 (F/G4), MONTEZIC.
Key words : Rock-like; Repairs; Grouting.
- JEANPIERRE, D., DESMOULINS, G., KUNSTMANN, M. (1982) – “ *Étanchéité des barrages de Montézic : emploi de brai-vinyle* ”, Compte rendu de la Réunion Travaux 1982 d'Électricité de France (D.E.) (F), MONTEZIC.
- JOHNSTON, T. A., WILSON, A.C., EVANS, J.D. (1995) – “ *Roadford Reservoir : design, construction and performance* ”, Proceedings of the Institution of Civil Engineers : Water Maritime and Energy Vol. 112 Issue 4 (UK) ROADFORD.
- JUSTO, J. L. (1973) – “ *The cracking of earth and rockfill dams* ”, XI ICOLD, Madrid, 4, pp. 921-945.
- JUSTO, J. L., SAURA, J. (1973) – “ *Behaviour of Venemo Dam by three dimensional FE* ”, XI ICSMFE, 3, pp. 449-452 (G1), VENEMO.
- JUSTO, L. (1990) – “ *Asphaltic concrete face dams* ”, Ch. 10 in “ *Advances in Rockfill Structures* ”, Ed. E. Maranha das Neves, Kluwer Academic Press, in coop. with NATO Scientific Affairs Div. History (G1).
Key words : Synthesis; Statistics; Bibliography; Nomenclature; Deformability; Computation; Performance.
- KEHRLI, W. (1960) – “ *Das Ausgleichbecken Wanna und Safien-Platz der Kraftwerksgruppe Zervreila* ”, Hoch und Tiefbau, 6-8.

- KIESSLING, H. (1979) – “ *Examination and reinforcement of asphaltic surface sealings on dams situated in high mountain regions* ”, XIII ICOLD, New Delhi, Q. 49, R. 33, pp. 499-508 (A/G2) OSCHENIKSEE, WURTENALM.
Key words : Environment, Facing, Repairs.
- KIESSLING, H. – “ *Teilausbau bei Hochgebirge gelegenen Dämmen mit Asphaltoberflächendichtung* ”, Wasserwirtschaft 71, pp. 33-39 (A).
- KJARNSLI, B., MOUM, J., TORBLAA, I. – “ *Laboratory tests on asphaltic concrete for an impervious membrane on the Venemo rockfill Dam* ”, N.G.I., 69, pp. 17-26, VENEMO.
- KOBILKA J. G., GRASSINGER H. (1982) – “ *Embankment and cofferdams for run-of-river stations on the austrian stretch of the Danube River* ”, XIV ICOLD, Rio de Janeiro, Q. 55, R. 9, pp. 145-166 (G2).
Key Words : Construction; Control.
- KOENIG, H. W. – “ *Waterproofing of earthfill and rockfill dams with bitumen and other materials* ”, VII ICOLD, Rome, Q. 27, R. 80 (D).
- KOENIG, H. W., IDEL, K. H. – “ *Deformation and loading of a rockfill dam with bituminous surface membrane* ”, IX ICOLD, Istanbul, Q. 34, R. 40 (D).
- KOENIG, H.W., IDEL, K.H. – “ *Report on the behaviour of impervious surface of asphalt* ”, XI ICOLD, Mexico City, Q. 42, R. 20 (G1).
- KRAMER, R. K. – “ *Embankment Dams : Impervious Elements other than clay cores* ”, XVI ICOLD, San Francisco, G. R., Q. 61, pp. 1191-1253 (G1).
Key words : General; Reviews.
- LEGGE, G. H. – “ *Mulungushi and Mila Hills Dam operation and maintenance* ”, X ICOLD, Montreal, Vol. III, Q. 38, R. 6, pp. 71-90, MULUNGUSHI, MILA HILLS.
- LEHNERT, J., GEISELER, W. D. (1979) – “ *Interface of bituminous cores with foundation and structures; transition between bituminous core and lining construction at combined solutions* ”, XIII ICOLD, New Delhi, Q. 48, R. 52, pp. 923-941 (EQ/G1) POZA HONDA.
Key words : Facing; Connections.
- LEHNERT, J., OLAFSSON, P. (1979) – “ *Sigalda/Island – Bituminöse Aussendichtung unter extremen klimatischen Bedingungen* ”, Strabag-Schriftenreihe 10th Series No. 1, pp. 133-164.
- LEPORI, W. – “ *Das Ausgleichbecken Vissoie der Kraftwerke Gouggra AG* ”, Schweizerische Bauzeitung, 15 (CH).
- LINDSAY, C. D. (1971) – “ *Asphalt lining – 25 Million Gallon Reservoir at Merredin, Western Australia* ”, First Asphalt Conference Sydney, Australia, February 1971, AAPA Australian Asphalt Pavement Association Ltd. MERREDIN.
Key words : Reservoir; Lining; Construction.
- LÖHR, A. – “ *Characteristics of asphalt concrete for facing membrane and cores of high fill dams* ”, VIII ICOLD, Edinburgh, Q. 31, R. 17 (D).
- LÖHR, A. – “ *Problems encountered in the construction of fill dams with bituminous sealing elements* ”, VII ICOLD, Rome, Q. 27, R. 277 (D).

- LÖHR, H., FEINER, A. – “ *Asphaltic concrete blankets and cores for fill dams and pumped-storage reservoirs* ”, X ICOLD, Montreal, Q. 36, R. 39 (D).
- MALQUORI, E. – “ *Il serbatoio superiore dell'impianto di Vianden...* ”, *Geotecnica*, 2 (L/G3) VIANDEN.
- MARANHA DAS NEVES, E., Edit. (1990) – “ *Advances in Rockfill Structures* ”, Kluwer Academic Publishers in coop. with NATO Scientific Affairs Division Comprehensive.
- MARKMART, J., KUBICEK, J., PETRATUR, V. (1988) – “ *Recent development of asphalt concrete dam lining in Czechoslovakia* ”, XVI ICOLD, San Francisco, Q. 61, R. 33, pp. 617-625, Construction (CS/G2).
- MATSUMOTO, N., YASUDA, N., OGAWA, M., MITSUHIRO, I. (1985) – “ *Investigations of cracks in an asphaltic concrete facing and comparison between observed cracking and predicted behaviour by earthquake analysis* ”, XV ICOLD, Lausanne, Q. 56, R. 27, Vol. 1, pp. 559-572 (J/G3), MAGOSAWA.
Key words : Earthfill; Type A; Dynamic; Cracks.
- MINISTERO, L. L., P. P. (1926) – “ *Le dighe di ritenuta in Italia* ” (I).
- MOPU (1988) – “ *Our work in dam construction – Ministerio Obras Publicas y Urbanismo* ”, Published on the occasion of XVI ICOLD, San Francisco (E/G2), HUESNA, NEGRATIN.
Key words: Rockfill; Type A; Joints.
- MORI, R.T., PINTO, S.N.L. (1988) – “ *Analysis of deformations in concrete face rockfill dams to improve face movement prediction* ”, XVI ICOLD, San Francisco, Q. 61, R. 2, pp. 27-34. Analysis; Deflections (G4).
- MORO, T., PUCCIO, P. (1975) – “ *Il rivestimento bituminoso della vasca di accumulo di Sello nell'impianto di San Fiorano* ”, *L'Energia Elettrica*, 12, pp. 710-720 (I), SELLERO.
- NAVALON, N., GAZTAÑAGA, J. M. (1988) – “ *The lining of La Muela upper reservoir* ”, XVI ICOLD, San Francisco, Q. 61, R. 51, pp. 947-955 (E/G3) LA MUELA.
Key words : Specifications; Facing.
- NICHIPOROVITCH, A. A., SIDOROV, A. A. (1961) – “ *Anti-seepage installations in earth and rockfill dams based on experience in the USSR* ”, VII ICOLD, Rome, Q. 27, R. 123 (USSR).
- NN (1971) – “ *The Waldeck II Station* ”, *Water Power & Dam Construction*, Vol. 23, No. 8, August 1971, pp. 275-285.
- NN (1978) – “ *Steep slopes paved, compacted with simple equipment* ”, *Highway & Heavy Construction*, October 1978, pp. 108-110.
- NOSE, M. (1979) – “ *ICOLD General Paper* ”, XIII ICOLD, New Delhi, G.P. – Q. 48, R.S. 4, pp. 331-351 (J/G2), NINOKURA, MIYAMA.
Key words : Design.
- NOURESCU, A., CONSTANTINESCU, C., HORODINSCHI, O., LUCA, E. (1973) – “ *Solutions d'étanchement et la protection des talus aux barrages en matériaux locaux, exécutés en Roumanie* ”, XI ICOLD, Madrid, Q. 42, R. 24 (R).

- OLAFSSON, P., BJÖRNSSON, B. J. (1988) – “ *Dam construction increases with hydro expansion in Iceland* ”, *Water Power & Dam Construction*, June 1988, pp. 66-78. .
- OTT, J. C. (1959) – “ *Expériences faites au cours de la construction des bassins de compensation d' Eggen et du Bergli* ”, *Bulletin Technique de la Suisse Romande (CH)*, EGGEN.
- PALMA CARLOS, A., SILVA SANCHES, R. (1961) – “ *Aims and conditions of the utilisation of bituminous products in some Portuguese dams* ”, VII ICOLD, Rome, Q. 27, R. 105 (P).
- PENMAN, A. D. M. (1985) – “ *The waterproof element for embankment dams* ”, *Water Power & Dam Construction*, Vol. 37, 7, 33-52 (G1).
Key words : General.
- PENMAN, A. D. M., CHARLES, J. A. (1985) – “ *Behaviour of rockfill dam with asphaltic membrane* ”, XI ICSMFE, San Francisco, vol. 4, pp. 2011-2014.
- PENMAN, A. D. M., HUSSAIN, A. (1984) – “ *Deflection measurements of upstream asphaltic membrane of Marchlyn Dam* ”, *Water Power and Dam Construction*, vol. 36, 9, pp. 33-37 (UK/G3), MARCHLYN.
Key words : Monitoring; Performance.
- PERRIOLAT, (1989) – “ *Retour d'expérience de la retenue de Revin* ”, Journées d'études d'Électricité de France : Étanchéités minces dans les barrages. Chambéry, 15-16 Mars (F) REVIN.
- PONSY, J. (1972) – “ *L'usine hydraulique d'accumulation journalière par pompage de Revin* ”, (F) REVIN.
- PONSY, J., DIERNAT, VIGNEUX, (1973) – “ *Les revêtements du bassin supérieur de Revin. Essai d'un revêtement étanche de brai-vinyle* ”, *Travaux, Mai (F) REVIN*.
- POSKITT, F. F. (1972) – “ *The asphaltic lining of Dungonnel Dam* ”, *The Institution of Civil Engineers*, 51-52, DUNGONNEL.
- RAST, P. (1981) – “ *Digue de la retenue supérieure de Montézic : masque amont en béton de brai-vinyle* ”, Réunion Travaux 1981 d'Électricité de France (D.E.) (F), MONTEZIC.
- RIJKSWATERSTAAT (1985) – “ *The use of asphalt in hydraulic engineering* ”, *Rijkswaterstaat Communication*, No. 37/1985.
- ROBERT, A. (1959) – “ *Le bassin de compensation de Motec, son projet et sa réalisation* ”, *Bulletin Technique de la Suisse Romande*, 18 (CH), MOTEC.
- ROTHACKER, O. (1982) – “ *Pumpspeicherwerk COO in Belgien* ”, *Strabag Series* 11/1 (1982), pp. 159-170, COO.
- ROUTH, C.D. (1988) – “ *The investigation, identification and repair of the asphaltic concrete facing of Winscar Dam* ”, XVI ICOLD, San Francisco, Q. 61, R. 36, pp. 655-677 (UK/G3) WINSCAR
Key words : Joints; Performance; Repairs.
- RÜEGG, W.O. (1960) – “ *Asphalt-Dichtungsbeläge für Ausgleichbecken* ”, *Schweizerische Bauzeitung*, 21 (CH).

- SCLD (1988) – “ *Long-term behaviour of bituminous and cement concrete facings of compensation reservoirs in Switzerland* ”, XVI ICOLD, San Francisco, Q. 61, R. 18, pp. 311-325 (CH/G2).
- SAWADA, T., NAKAZIMA, Y., TANAKA, T. (1973) – “ *Empirical research and practical design of rockfill dams with asphalt facing* ”, XI ICOLD, Madrid, Q. 42, R. 17 (J).
- SCHEIDENHELM, F.W., SNETHLAGE, J. B., VANDERLIP, A.N. (1960) – “ *Montgomery Dam with asphaltic concrete deck* ”, Trans. ASCE, 125, 2B, pp. 431-464 (USA/G3), MONTGOMERY.
- SHELL (1995) – “ *Tabellen und Übersichten zur Anwendung von Shell Bitumen* ”.
Key words : Bitumen.
- SCHENK, T. (1976) – “ *Expériences faites lors de la mise en place du masque amont de la digue de Godey* ”, XII ICOLD, Mexico City, Q. 44, R. 27, pp. 557-563 (CH/G3) GODEY.
Key words : Interfaces; Construction; Joints; Performance.
- SCHENK, V. (1988) – “ *Monitoring aspects of two embankment dams with bituminous impervious elements, in the Federal Republic of Germany* ”, XVI ICOLD, San Francisco, Q. 61, R. 42, pp. 759-777 (D/G3), PRIMIS.
Key words : Monitoring; Performance.
- SCHETELIG, K., BRETH, H. (1976) – “ *Experience with a reservoir with natural sealing of silty clayey overburden upon extremely permeable rock* ”, XII ICOLD, Mexico City, Q. 45, R. 25, pp. 429-441 (D/G3), NIDDA.
Key words : Design, Performance.
- SCHWEWE, L. D. (1997) – “ *Successful remedy for the failed initial refurbishment at Hardap Dam* ”, Hydropower and Dams, 6 (G3).
Key words : Rehabilitation.
- SCHWEWE, L., GEISELER, D. (1985) – “ *Applications of asphalt concrete in sealing of embankment dams* ”, Geotechnik, Sp. issue, pp. 68-72, GODEY.
- SCHNITZER, G. (1959) – “ *Ausgleichbecken* ”, Schweizerische Bauzeitung, 44 (CH).
- SCHNITZER, G., ZELLER, J. (1961) – “ *Geotechnical investigations of mixtures of bitumen, clay or bentonite with sandy gravel* ”, VII ICOLD, Rome, Q. 27, R. 38 (CH).
- SCHÖBER, W. (1988) – “ *A study on the behaviour of embankment dams with diaphragms* ”, XVI ICOLD, San Francisco, Q. 61, R. 53, pp. 973-996 (G1).
- SCHÖNIAN, E. (1981) – “ *Dichtung des Sees im Landschaftspark Rheinaue in Bonn mit Asphaltbeton* ”, Wasser und Boden 8 – 1981, pp. 396-399.
- SCHÖNIAN, E. (1986) – “ *Sanierung der Asphaltbetondichtung des Oberbeckens des Pumpspeicherwerkes Geesthacht nach 30 Jahren Betrieb* ”, Bitumen 4/1986, pp. 154-161.
Key words : Reservoir Lining; Type B; Repairs; Rehabilitation; Construction; Controls.

- SCHÖNIAN, E. (1989) – “ *Waterproofing of dams and reservoirs by asphaltic concrete, its practical performance and compatibility with drinking water* ”, Asphalt Wasserbau, 11/1, Teil A, Strabag, pp. 25-36.
- SERRANO, M. (1982a) – “ *Investigation on construction materials for the Sallente Dam* ”, XIV ICOLD, Rio de Janeiro, Q. 55, R. 56, pp. 1007-1026 (E/G3), SALLENTE.
Key words : Investigation; Soil-like; Rockfill; Type B; Gallery.
- SERRANO, M. (1982b) – “ *Sallente Dam geology and site investigation* ”, XIV ICOLD, Rio de Janeiro, Q. 53, R. 60, pp. 937-987 (E/G3), SALLENTE.
Key words : Soil-like; Rockfill; Type B; Single; Investigation; Gallery.
- SHERARD, J. L., WOODWARD, R. J., GIZIENKSI, S. F., CLEVINGER, W. A. (1963) – “ *Earth and Earth-rock Dams* ”, J. Wiley, N. Y.
- SILVESTRI, T. (1963) – “ *Comportamento della diga in rockfill di Contrada Sabetta in quattro anni di esercizio* ”, Geotecnica, pp. 173-180 (I/G3) CONTRADA SABETTA.
- SILVESTRI, T., RICCIARDI, F., ROSSETTI, M. (1985) – “ *Design and seismic stability of fill works in a large power plant* ”, XI ICSMFE, San Francisco, pp. 1877-1882 (I).
- SMITH, L. C., MACPHERSON, H. H., OECHSEL, R. G. (1988) – “ *Long-term performance asphalt lined upper reservoir Seneca pumped-storage station* ”, XVI ICOLD, San Francisco, Q. 61, R. 27, pp. 501-523 (USA/G3), UPPER KINZUA.
Key words : Performance; Repairs.
- STEFFEN, H. (1972) – “ *Asphaltic sealing in the construction of pumped-storage schemes* ”, Symposium on hydroelectric pumped-storage schemes, Athens.
- STEFFEN, H. (1973) – “ *The use of asphalt in reservoirs linings and dam cores* ”, Water Power, October.
- STEFFEN, H. (1976) – “ *The experience with impervious asphaltic elements and the conclusions for their design* ”, XII ICOLD, Mexico City, Q. 44, R. 19, pp. 395-405 (D/G2).
Key words : Recommendations; Facing; Joints; Construction; Performance; Damage; Repairs.
- STEFFEN, H., KETTWIG – “ *Anwendung und Einbau von Asphaltbeton im Wasserbau* ”, Baumaschine und Bautechnik, H. 5, pp. 175-182.
- STRABAG, T. G. (1996) – “ *Asphaltic Concrete for Hydraulic Structures* ”, Reservoirs, Köln, Germany.
Key words : General, Guidelines (G1).
- SZILING Z. (1985) – “ *The durability of mineral-asphalt mixes in fastenings of earth dams* ”, XV ICOLD, Lausanne, Q. 59, R. 3, pp. 35-41.
Key words : Control, Performance.
- SZLING, Z., SZYMANSKY, A. (1991) – “ *The origin of and prevention from damage to impervious facings* ”, XVII ICOLD, Vienna, Q. 65, R. 6, pp. 95-102 (G4).
Key words : Type A; Multi; Blisters; Repairs.

- TAKAHASHI, M., NAKAMAYAMA, K. (1973) – “ *The effects of regional conditions in Japan on design and construction of impervious elements of rockfill dams* ”, XI ICOLD, Madrid, Q. 42, R. 29 (J).
- TANAKA, T., NAKANA, R. (1976) – “ *Finite Elements Analysis of Miyama Rockfill Dam* ”, II International Conference on Numerical Methods in Geomechanics, American Society of Civil Engineers, pp. 650-661 (G3), MIYAMA.
Key words : Computations; Displacements.
- TASMANIA, H. E. – “ *Mackenzie Dam – Design of bituminous concrete mix* ”, MACKENZIE.
- TASMANIA, H. E. – “ *Specifications for the construction of a bituminous concrete membrane for the upstream face of Scotts Peak Dam* ”, C.E. 1523 with Amendments. SCOTTS PEAK.
- TEDD, P., PRICE, G., WILSON, A. C., EVANS, J. D. (1991) – “ *The use of the BRE electro-level system to measure deflection of the upstream asphaltic membrane of Roadford Dam* ”, 3rd. Int. Symp. on Field Measurements in Geomechanics – Oslo, September (UK/G3), ROADFORD.
Key words : Monitoring; Performance.
- THE ASPHALT INSTITUTE (1965) – “ *Asphalt in hydraulic structures* ”, MSd2.
- THEVENIN, J. (1961) – “ *Barrage du Ghrib (Algérie). Observations et études sur le vieillissement du masque en béton bitumineux* ”, VII ICOLD, Rome, Q. 27, R. 36 (DZ), EL GHRIB.
- TSCHERNUTTER, P. (1988) – “ *Experience gained with asphaltic concrete facings on high-level embankment dams of the Fragant group of power schemes* ”, XVI ICOLD, San Francisco, Q. 61, R. 59, pp. 1105-1131 (A/G2), HASELSTEIN, ZIRMSEE, INNERFRAGANT, FELDSEE .
Key words : Environment; Synthesis; Recommendations; Facing; Type B; Single; Multi; Repairs.
- USCOLD (1988) – “ *Development of Dam Engineering in the United States* ”, Ed. by E. B. Kollgaard and W. L. Chadwick, on the occasion of XVI ICOLD Congress, San Francisco, Pergamon Press. (USA/G3) MONTGOMERY, LUDINGTON.
Key words : Rock-like; Rockfill; Type B; Multi; Performance.
- U.S.B.R. – “ *Cachuma project, California, Santa Barbara* ”, (USA) GLEN ANNE.
- U.S.B.R. – “ *Design of small dams* ” (USA/G1).
- U.S.B.R. (1965) – “ *Mix design investigation of asphaltic concrete for dam facing Glen Elder Dam* ”, Missouri River Basin Project-Kansas Report n. ChE-42-Febr.Chemical Eng. Branch. Division of Research (USA), GLEN ELDER.
- UHLITSCH, G. (1975) – “ *Pumpspeicherwerk Waldeck II – der Bau des Oberbeckens* ”, Tiefbau – Ingenieurbau – Strassenbau, Vol. 17, No. 10, October 1975, pp. 643-652.
- Van ASBECK, B. W. F. (1961) – “ *The use of asphaltic bitumen for sealing earth and rockfill dams* ”, VII ICOLD, Rome, Q. 27, R. 5, (UK/G1), EL GHRIB.
Key words : General, Performance.

- Van ASBECK, B. W. F. (1955) – “ *Bitumen in Hydraulic Engineering* ”, Vol. 1, Shell International Petroleum Co., Ltd. London (UK/G1).
- Van ASBECK, B. W. F. (1964) – “ *Bitumen in Hydraulic Engineering* ”, Vol. 2, Elsevier, Amsterdam/London/New York (UK/G1).
- Van ENGELEN, J. H. (1976) – “ *Drinkwaterspaarbekken in de Biesbosch* ”, *Asfalt* 2/1976, pp. 55-61.
- VASQUEZ GONZALES, J., FERNANDES RODRIGUES, S. (1988) – “ *Bituminous concrete faced rockfill dam – A Portuguese case* ”, XVI ICOLD, San Francisco, Q. 61, R. 41, pp. 745-757 (P/G3), APARTADURA.
Key words : General; Rock-like; Rockfill; Type A; Multi.
- VERCON, N., MARKOVIC, M. (1961) – “ *Masque d'étanchéité en béton bitumineux du barrage de Radoina* ”, VII ICOLD, Rome, Q. 27, R. 44 (YU), RADOINA.
- VISSER, A., SCHOENIAN, E., POSKITT, F. (1970) – “ *The application of bitumen for earth and rockfill dams* ”, X ICOLD, Montreal, Q. 36, R. 38 (UK/G4).
Key words : Guidelines.
- VISSER, W., CLAESSEN, A. I. M. (1975) – “ *Asphalt rules the Dutch waves* ”, National Asphalt Pavement Association (NAPA) Convention, February 3-6, 1975 (Reprint : Green Cover booklet by Shell International Petroleum Co. Ltd., 1975).
- WALKER, F. C., ELLSPERMAN, L. M. (1961) – “ *Factors affecting the use of asphaltic diaphragms in earth and rockfill dams in the Western United States* ”, VII ICOLD, Rome, Q. 27, R. 66 (USA).
- WALO BERTSCHINGER, AG. (1990) – “ *Bituminous sealing layers replaced at Markersbach* ”, *Water Power & Dam Construction* 42, 8, pp. 30-32 (G3), MARKERSBACH.
Key words : Rehabilitation.
- WALO BERTSCHINGER, AG. (1994) (Authors Pfiffner H. P., Hock H. R.) – “ *Asphalt hydraulic engineering, a part of dam and waste deposit construction* ”.
- WEINHOLD, R., HAUG, W. (1988) – “ *The influence of large deformations on asphaltic cores and membranes. Examples of the rockfill dams of Breitenbach and Prims Reservoirs, FRG* ”. XVI ICOLD, San Francisco, Vol. 2, Q. 61, R. 22, pp. 399-414 (D/G3) PRIMS
Key words : Deflection; Cases.
- WELLACHER, H., TSCHERNUTTER, P. (1985) – “ *Repair of a high-altitude rockfill dam with an upstream asphalt concrete membrane* ”, XV ICOLD, Lausanne, Q. 59, R. 40 (A/G3), GROSSEE.
Key words : Environment; Single; Depressions; Blisters; Cracks; Repairs; Refacing.
- WILSON, A. C., ROBERTSHAW, A. C. (1998) – “ *Winscar Dam : investigations and repairs to the asphaltic concrete membrane* ”, The British dam Society 10th Conference The Prospect for Reservoirs in the 21st Century (UK/G3), WINSCAR.
Key words : Repairs.
- YANG, Q., SUN, Z., DING, P. (1988) – “ *Asphalt concrete facing for rockfill dams built by directional blasting* ”, XVI ICOLD, San Francisco, Q. 61, R. 58, pp. 1091-1103 (CA/G2) LICHEYU, SHIBIANYU.
Key words : Joints; Blasting; Performance.

Imprimerie de Montligeon
61400 La Chapelle Montligeon
Dépôt légal : juin 1999
N° 19398
ISSN 0534-8293

Copyright © ICOLD - CIGB

Archives informatisées en ligne  *Computerized Archives on line*

The General Secretary / Le Secrétaire Général :
André Bergeret - 2004



International Commission on Large Dams
Commission Internationale des Grands Barrages
151 Bd Haussmann -PARIS -75008
<http://www.icold-cigb.net> ; <http://www.icold-cigb.org>